

# 我国农村污水处理技术研究进展

于宁 (辽宁省环境监测实验中心, 辽宁沈阳 110161)

**摘要** 我国农村目前水污染问题十分严重, 很多污水得不到有效的处理, 农村污水问题亟待解决。在此介绍了我国农村污水处理的现状以及农村污水的来源、特点、排放及收集处理途径、排放标准等问题, 并对几种农村污水处理技术进行了简介, 为农村污水处理提供一定的参考。

**关键词** 农村; 农村污水; 处理技术; 研究进展

**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)11-03323-03

## Research Progress of Rural Sewage Treatment in China

YU Ning (Liaoning Environmental Monitoring Experiment Center, Shenyang, Liaoning 110161)

**Abstract** Water pollution problem in China's rural areas is very serious, a large amount of sewage cannot get effective treatment. Rural sewage treatment need to be solved. The present situation of the sewage disposal and the sources, characteristics, emissions, collecting ways and emission standards of rural wastewater in China were introduced, and several kinds of rural sewage treatment technology were introduced, which will provide a reference for rural sewage treatment.

**Key words** Rural; Rural wastewater; Processing technology; Research advance

随着我国社会和经济的不断发展, 我国的环境污染问题也日益严重。尤其是在农村, 环境问题显得尤为突出。农村环境污染主要体现在水体污染严重、清洁水源稀缺、土壤质量下降、人居环境恶化、生态遭到破坏等方面。水环境污染问题尤为严重<sup>[1]</sup>。我国在 2010 年进行了第 1 次全国污染源普查, 结果表明, 农村污染物排放量已占全国总量的 50% 左右, 其中 COD、TN、TP 的排放量分别占总量的 43%、57% 和 67%<sup>[2]</sup>。而长期以来, 由于治理资金短缺和对农村水环境保护意识的淡薄, 农村地区的污水大多得不到有效处理<sup>[3-4]</sup>, 最终给环境带来不可避免的污染<sup>[5]</sup>。因此, 农村污水问题亟待解决, 研究农村污水的特征、处理工艺和水质指标等也具有很大的现实意义。笔者在此介绍了我国农村污水处理的现状以及农村污水的来源、特点、排放及收集处理途径、排放标准等问题, 并对几种农村污水处理技术进行了简介, 为农村污水处理提供一定的参考。

## 1 我国农村污水概述

**1.1 农村污水处理现状** 我国农村生活污水处理尚处于起步阶段, 污水处理设施不完善, 其建设与运行管理相对滞后, 究其原因主要有认识不到位、缺乏稳定可靠的建设和运转资金、尚无相关的农村生活污水排放标准<sup>[6]</sup>。我国南方农村多为分散性村落, 现行的南方农村生活污水的处理并不广泛, 在重庆、江浙、四川、广东等地区有一些农村生活污水的试验性处理工程。目前, 南方农村地区将生活污水随意收集于化粪池发酵后灌溉菜地农田, 该过程没有正确的科学引导, 使得大部分的生活污水没有处理直接排入水体。北方农村虽多为聚居, 但由于资金短缺以及没有过多的处理设施, 目前北方农村的生活污水大部分为原位排放<sup>[7]</sup>。

**1.2 农村污水的来源** 农村污水是农村村庄和小镇的居民

生活污水和生产废水的总称<sup>[8]</sup>。它的来源主要包括农村居民日常生活废水和乡村企业排放的各种废水 2 个方面<sup>[9]</sup>。农村居民日常生活废水包括厨房污水、衣物洗涤废水、冲厕水以及家禽排泄物等。其中, 衣物洗涤废水中洗衣粉的使用大大加剧了农村氮、磷污染, 使湖泊富营养化问题更加严重。

**1.3 农村污水的特点** 农村污水由于其分散性的特点, 其水量、水质不同于城市生活污水, 具有自身的特点。其主要特点有: ①农村污水主要为生活污水和以农产品为原料的加工污水的混合污水, 基本上不含重金属和有毒有害物质, 含有一定量的氮和磷, 可生化性好; ②农村污水水量、水质变化大, 且水量、水质在不同的居住区、不同的时间段有明显的差异; ③农村地区人口居住分散, 大部分农村没有排水收集管网, 污水处理率较低且集中收集处理难度较大<sup>[10-11]</sup>。

**1.4 农村污水排放及收集处理途径** 农村生活污水一般雨污混流排放, 有调查显示约 96% 的村庄无排水沟渠和污水处理系统, 污水沿着村庄道路沟渠或路面未经处理直接排入河流、湖泊收纳水体, 有的生活污水甚至直接通过地渗排放, 存在污染地下水等风险<sup>[12]</sup>。介于农村污水排放现状, 农村污水收集处理模式应因地制宜, 采用集中处理与分散处理相结合的原则, 选择合适的污水收集处理模式<sup>[10]</sup>。目前, 农村污水收集处理模式主要有集中收集处理模式、分散收集处理模式和管网截污收集处理模式 3 种, 其中管网截污收集处理模式需要利用附近城镇的污水管网, 并将农村的污水管网并入其中<sup>[10, 13]</sup>。

**1.5 农村污水处理的排放标准** 我国关于水环境标准的体系主要有水环境质量标准、水污染物排放标准、水环境基础标准、水监测分析方法标准和水环境标准样品标准五类。污水排放标准的严格与宽松程度直接决定了水环境质量的水平和用水质量的高低, 也关系着污水处理行业的发展方向<sup>[14]</sup>。目前, 我国农村缺乏相应的污水排放标准和污水处理设施的长效运行管理机制, 农村污水排放标准主要采用的是《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)、《污水

**基金项目** 国家十二五科技重大水专项 - 水体污染控制与治理 (2012ZX07505-003)。

**作者简介** 于宁 (1982 - ), 男, 辽宁大连人, 工程师, 从事环境监测方向研究。

**收稿日期** 2014-03-08

综合排放标准》(GB 8978-2008)等<sup>[15]</sup>,而这些标准主要适用于大中城市的水环境和经济发展状况。农村污水在水质、水量以及经济发展程度等方面与大中城市截然不同,从节能减排的需要考虑,只要是污染物的减少就有利于“总量”的控制,因此,对小城镇污水处理排放标准有商酌的必要<sup>[14]</sup>。

## 2 我国农村污水处理技术简介

考虑到农村污水本身具有的特点,结合农村地区的地理环境,当附近有可利用的农田、可进行污水灌溉和污泥用作农肥等便利条件时,在污水处理工艺的选择上将污水处理与利用相结合,与保护和改善当地的生态环境和水环境相结合,实现农村区域性的生态环境和水资源的良性循环。当农村有可利用的天然废塘、荒地、洼地时,应充分利用当地条件,优先考虑采用生态塘、人工湿地处理系统等因地制宜的生态处理工艺。当没有可利用的天然废塘、荒地、洼地等条件时,可推荐选用改良型好氧生物处理工艺对小城镇污水进行二级生化处理<sup>[16-17]</sup>。

**2.1 人工湿地** 人工湿地是一种由人工建造和监督控制的、与沼泽地类似的地面。它利用自然生态系统中的物理、化学和生物的重重协同作用,通过过滤、吸附、共沉、离子交换、植物吸收和微生物分解来实现对污水的高效净化<sup>[18]</sup>。人工湿地处理污水是充分利用了“土壤—植物—微生物”系统的净化能力,既可去除有机污染物,又可去除造成水体富营养化的氮、磷等污染物<sup>[19]</sup>。人工湿地处理系统分为表面流人工湿地处理系统和潜流人工湿地处理系统<sup>[20]</sup>。表面流人工湿地是在深度约0.6~1.5 m的浅池塘或渠道中种植各种形式的水生植物,包含挺水植物(香蒲、芦苇、风车草、茭白笋及开卡芦等)、沉水植物(水蕴草、马藻等)、浮叶植物(睡莲、菱角等)及漂浮植物(青萍、满江红等),其主要处理机制是利用不同水深及植栽密度的配置,可增加湿地生态的多样性以确保处理效率稳定,亦可通过各区域中好氧程度的不同,达到脱氮的功能。潜流人工湿地处理系统是在深度0.6~1.0 m、底部坡度在0.5%~1.0%的沟渠或水池,铺设砾石或土壤后密植挺水植物,再导入污水并控制水面高度,使水面不暴露于空气中,即污水仅在介质中流动,没有开放水面区,其主要处理机制为利用附着在砾石或植物根系的微生物分解水中污染物。潜流式人工湿地因水流在底面流动更容易适应寒冷气候,适合在北方地区运行。但在北方地区运行的湿地,必须考虑冬季降温导致植物死亡和微生物失活而使人工湿地运行效率降低的问题。潜流人工湿地处理系统前端通常需要设置化粪池、初沉池等预处理设施,避免大型颗粒流入砾石床中堵塞孔隙,降低处理效能<sup>[17,20]</sup>。

人工湿地污水处理技术应用范围很广,出水一般均优于常规二级处理效果。另外,人工湿地适用范围广,依据其特性,非常适用于没有完善污水管网系统的地区和乡镇<sup>[19]</sup>。但该技术易受气候条件影响,南北差异较大,北方大部分地区冬季气温较低,难以维持生态系统的正常运行或保证污水处理效果。因此在采用此技术时,要选取合适的植物,并要充分考虑植物过冬问题<sup>[21]</sup>。1990年,我国建成了第1个人

工湿地处理系统——深圳白泥坑污水处理系统,处理污水量4 500 m<sup>3</sup>/d,处理场占地0.84 hm<sup>2</sup>,实际使用面积0.50 hm<sup>2</sup>,设计BOD<sub>5</sub>进水最高浓度100 mg/L,SS进水最高浓度150 mg/L,两者的出水浓度均为30 mg/L,达到城市污水二级排放标准<sup>[22]</sup>。李艳波等在福建某水源地采用水解酸化—人工湿地工艺处理农村污水,实际运行结果表明,该工艺切实可行、运行成本低,取得了较好的处理效果;当进水COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N、TP质量浓度分别低于200、300、200、25、5 mg/L时,出水COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N、TP质量浓度分别低于60、60、80、15、0.5 mg/L;该系统出水水质稳定可达《农田灌溉水质标准》,出水直接回灌农田或山林,不设排放口,可以很好地保护水源<sup>[23]</sup>。

**2.2 人工快渗技术工艺** 人工快渗系统是在快渗池内填充一定级配的人工改性滤料,滤料表面生长丰富的生物膜。当污水自上而下流经滤料层时,发生综合的物理、化学、生物反应,使污染物得以最终去除。该技术具有建设和运营成本低、污染物去除效率高、不产生活性污泥、操作运行简便、建设周期短等优点。人工快渗对有机污染物的去除主要通过过滤截留、吸附和生物降解作用共同完成。过滤截留和吸附作用在人工快渗系统中主要起调节机制,而有机污染物的真正去除主要靠生物降解。生物降解包括好氧生物降解和厌氧生物降解,其中发生在好氧—厌氧交替带的好氧生物降解是人工快渗系统去除有机污染物的主要机制<sup>[24]</sup>。杨小毛等结合深圳市白花洞村、四川省绵阳市北川县及北京昌平区农村工程实践,分析了人工快渗技术在村级分散型污水处理工程中的实际运行效果,理论研究和工程实践均表明人工快渗技术及其改进工艺组合系统具有工艺简单、建设运行成本低、污染物去除效率高、出水效果好等特点,可有效地解决目前农村地区因受到资金、技术、人才等因素限制造成的污水处理能力低的问题,是一项十分适合我国农村地区的污水处理技术<sup>[25]</sup>。

**2.3 稳定塘** 稳定塘是一种利用天然净化能力的生物处理构筑物的总称,有机物主要通过微生物降解、有机物吸附、有机颗粒的沉降和截滤作用去除。稳定塘在太湖流域农村地区应用比较广泛<sup>[17]</sup>,尤其是高效藻类塘式稳定塘技术。高效藻类塘是美国加州大学伯克利分校的Oswald等在20世纪50年代末提出并发展的,它是在传统稳定塘的基础上发展起来的一种改进形式,强化利用藻类的增殖来产生有利于微生物生长和繁殖的环境,形成更紧密的藻—菌共生系统,同时创造一定的物化条件,达到对有机碳、病原体,尤其是氮和磷等污染物的有效去除,适合于农村面源污染控制<sup>[26-27]</sup>。郭迎庆等研究高效菌藻塘系统处理太湖地区农村生活污水除磷效果及其强化措施发现,高效菌藻塘和水生生物塘水力停留时间分别为8和4 d,进水总磷浓度1.7~17.1 mg/L,出水总磷浓度全年平均值为3.33 mg/L,高效菌藻塘系统的除磷能力欠佳;通过降低水生生物塘内水深、采用废弃石膏作为填料构建了新型复合水生生物塘,水力停留时间为1.6 d条件下,复合水生生物塘出水总磷可保持在1 mg/L以下,可

达到 GB18918-2002 一级 B 排放标准<sup>[27]</sup>。

**2.4 生物滤池** 生物滤池是生物膜法处理污水的传统工艺,早在 19 世纪末就已发展起来<sup>[28]</sup>。它是土壤自净原理为依据,在污水灌溉的实践基础上,经比较原始的间歇砂滤池和接触滤池而发展起来的人工生物处理技术。污水长时间以滴状喷洒在块状滤料层的表面上,在污水流经的表面上就会形成生物膜,待生物膜成熟后,栖息在生物膜上的微生物,即摄取流经污水中的有机物作为营养,从而使污水得到了净化<sup>[29]</sup>。黄伟丽等以苏南常州市民丰村为例,进行了复合式生物滤池对农村生活污水处理的应用,运行结果表明该村生活污水经复合式生物滤池处理后,其 COD、NH<sub>3</sub>-N、TN 和 TP 指标均低于 GB 18918-2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 B 标准,运行稳定<sup>[30]</sup>。

**2.5 复合工艺技术** 如果单采用生物滤池工艺不能达到理想效果的话,也可以在采用生物滤池等工艺的同时,加入一些工艺系统组成复合工艺技术。这样可以削弱一些技术的缺点,使出水达到更好的效果。赵大传等研究了升流式厌氧生物滤池(UAF)与温室型人工湿地组合工艺低气温下处理农村生活污水的运行特点及效果,结果表明在最佳条件下,组合工艺 COD 总去除率平均为 75%,BOD<sub>5</sub> 总去除率平均达 84%,SS 总去除率平均不低于 93%,氨氮总去除率平均为 63%,TP 总去除率平均为 46%,出水水质除 TP 外均满足 GB18918-2002 中一级 B 标准<sup>[31]</sup>。该工艺具有低能耗、低投资、低运行费用、运行维护简单等优点,适合作为农村生活污水的处理工艺推广使用。李二飞进行了厌氧生物滤池-一回行流人工湿地组合处理农村废水的研究,结果表明,该工艺对 COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP、SS 的去除率依次为 72.8%~79.6%、26.5%~48.1%、33.3%~59.6%、77.0%~84.0%,除 TP、SS 在个别时候超标外,出水能够满足 GB18918-2002 的二级标准;且在污水温度为 20℃左右时,厌氧生物滤池技术能够较好地去除难降解有机物<sup>[32]</sup>。

### 3 小结

我国农村生活污水的处理工作起步较晚,且目前仍存在比较大的问题。随着全国新农村建设步伐的加快和政策的倾斜,一些地方已经开始建设示范工程和规模化运行的处理设施,但只有高效、低投入、低运行成本的污水处理技术才符合国情。上述污水处理技术各具其独特的特点,且已经有了一些相关的研究和试验、实践工作,各地区可因地制宜,酌情选择。此外,这些技术也均有其自身的不足和值得改进之处,在实际应用中可通过科学设计、优化组合,达到技术上的互补。未来的污水处理技术会向着多方面、深层次的方向发展,可以预见多种系统的联合使用会成为今后发展的主要方向。

### 参考文献

[1] 冯欣,师晓春. 农村水污染现状及治理对策[J]. 环境保护与循环经济,

- 2011(5):40-42.
- [2] 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国家统计局,中华人民共和国农业部. 全国第一次污染源普查公报[EB/OL]. (2010-02-06)http://www.stats.gov.cn/tjgh/qjtjgh/qgqtjgh/120100211\_402621161.htm.
- [3] 王青颖. 中国农村生活污水治理技术应用现状及研究方向[J]. 污染防治技术,2007,20(5):37-41,73.
- [4] 王志强,李黎,罗海霞,等. 农村生活污水治理技术研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(5):2957-2959.
- [5] 彭举威,汪诚文,付宏祥,等. 分散农村污水处理模式分析[J]. 环境与可持续发展,2010(1):28-30.
- [6] 陈琳,刘杰,纪荣平. 农村生活污水治理技术与对策研究[J]. 污染防治技术,2012,25(2):53-54,74.
- [7] 龚园园,张照韩,于艳玲,等. 我国南北农村生活污水治理模式研究[J]. 现代生物医学进展,2012,12(1):132-136.
- [8] 孙瑞敏. 我国农村生活污水排水现状分析[J]. 能源与环境,2010(5):33-34,42.
- [9] 刘泽航. 农村生活污水排放标准[D]. 西安:陕西科技大学,2012.
- [10] 魏群,陈如融,吴贤华,等. 农村污水收集模式与常用处理技术[J]. 广西城镇建设,2012(3):96-100.
- [11] 胡广叶. 农村生活污水治理现状及对策研究[J]. 现代高贸工业,2011(14):251-252.
- [12] 谢伟红. 农村生活污水治理工程设计、施工及验收中存在的问题和对策[D]. 杭州:浙江大学,2012.
- [13] 周莉. 大连农村污水治理现状调查与治理研究[D]. 大连:大连理工大学,2012.
- [14] 苏诚,刘康怀,史奇峰,等. 小城镇污水处理排放标准小议[J]. 中国给水排水,2011,27(6):32-35.
- [15] 丁绍兰,刘泽航,郭雪松,等. 关于中国农村生活污水排放标准制定的探讨[J]. 环境污染与防治,2012,34(6):82-85.
- [16] 庞长洸,马放,邱珊,等. 寒冷地区中小城镇污水处理的实用技术[J]. 环境科学与技术,2010,33(12F):192-195.
- [17] 谢良林,黄祥峰,刘佳,等. 北方地区农村污水治理技术评述[J]. 安徽农业科学,2008,36(19):8267-8269.
- [18] 张玮,崔兵,栗莉. 人工湿地处理农村生活污水[J]. 能源环境保护,2012,26(4):28-50.
- [19] 陈晓东. 人工湿地在沈阳市农村生活污水治理中的试用性分析[J]. 环境保护与循环经济,2011(11):43-45.
- [20] 赵军. 我国农村生活污水分散式处理技术[J]. 安徽农业科学,2010,38(27):15203-15205.
- [21] 杨国文. 北方农村环境综合整治“以奖促治”项目生活污水治理技术与方案选择的探讨[J]. 中国西部科技,2012,11(7):66-68.
- [22] 沈坚,罗刚,周琪,等. 适合我国农村的污水处理模式探讨[J]. 安徽农业科学,2008,36(29):12859-12861.
- [23] 李艳波,林金画,温和. 水解酸化-人工湿地处理农村污水[J]. 环境科技,2012,25(4):26-28.
- [24] 张金炳. 污水处理人工快速渗滤系统研究[D]. 北京:中国地质大学,2002.
- [25] 杨小毛,赖梅东,梅立永,等. 人工快渗技术在我国农村地区水污染治理中的应用研究[J]. 环境工程,2012,30(S1):91-96.
- [26] 何少林. 高效藻类塘处理农村生活污水氮磷去除机理及工艺研究[D]. 上海:同济大学,2006.
- [27] 郭迎庆,刘群,黄翔峰. 高效菌藻塘系统对农村污水中磷的强化去除效果研究[J]. 环境工程学报,2009,3(12):2223-2226.
- [28] 顾国维,高廷耀,周琪. 水污染控制工程(下册)[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2007:201.
- [29] 张自杰. 排水工程(下册)[M]. 4版. 北京:中国建筑工业出版社,2000:201-202.
- [30] 黄伟丽,吴江涛,张继彪,等. 复合式生物滤池处理农村生活污水工程实例[J]. 环境工程,2012,30(5):47-49.
- [31] 赵大传,钟丽媛,杨厚玲,等. 升流式厌氧生物滤池与温室型人工湿地组合对农村生活污水治理的研究[J]. 中国农学通报,2012,28(5):258-262.
- [32] 李二飞. 厌氧生物滤池-一回行流人工湿地组合工艺处理农村生活污水的研究[D]. 重庆:重庆工商大学,2012.