

广西农村生活污水生态处理技术应用探讨

□ 梁有千 黄丽娟 韩 彪 王 林

[摘要] 广西农村地区居住人口相对较少，分布广而散，产生的生活污水水质浓度低、水量波动性大，污水管网不健全，村屯经济力量薄弱，缺乏污水处理专业人员。以生态文明建设为导向，结合广西农村环境现状特点，探讨广西农村生活污水治理技术应用。分析表明，充分利用农村自然生态环境容量，采用有自净能力生态循环系统的生态处理技术，可弥补农村生活污水治理现状的不足。其作为农村生活污水治理可持续性发展模式，能实现社会效益、经济效益、环境效益相统一。

[关键词] 农村生活污水；生态处理；因地制宜；可持续；生态循环

1 广西农村环境现状特点

1.1 广西农村现状

广大农村地区的地形地貌以丘陵、山地为主；气候温暖、雨水多，自然生态条件良好；环境容量大，生态环境修复能力强；有广阔的土地资源和生态环境资源；农村人口密度相对较低，小村庄分散，污水量小、点多，运行和监管难度较大，经济承受能力较差，普遍缺乏专业的环保技术和管理人员；农村农业对氮磷等营养物质有强大的需求和消纳能力^①；农田施肥或灌溉、渔业、绿化、林地、湿地等可对尾水进一步利用和净化。

1.2 污水水质

农村生活污水水质一般成份并不复杂，可生化性较好，浓度较低。但污水排放量波动大，水量少，排水分散，雨污混流，SS含量相对较大。典型广西农村生活污水的水质^①如表1。

1.3 出水水质排放要求

广西出台《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》（征求意见稿）^②中，出水水质标准分级：处理规模和受纳水体分级（详见标准）。

2 农村生活污水处理工艺

农村污水处理常用的工艺有：生物处理、生态化处理等成熟工艺。

2.1 生物处理

生物处理是微生物在酶的催化作用下，利用生物（即细菌、酶以及原生动物）的代谢作用，对污水中的污染物质进行分解和转化。生物处理常用的成熟工艺有活性污泥法和生物膜法。生物膜法：生物膜法既有生物膜的特点，同时生物膜池中有活性污泥存在，也兼有些活性污泥特点，适用于村庄规模较大、人口集中、污水量大、用地紧张、需集中处理且有一定经济基础的农村地区。

2.2 生态化处理

生态化处理是指有效地利用生物链来处理自然界的污染物或者污染源，既达到生态平衡作用，又达到净化环保作用。生态处理工艺有低成本、低能耗、易维护、生态性等优点。在生态环境资源好，环境容量大的地区，可就地就近选择适宜的生态化处理工艺。生态化处理非常适用于分散的、人口规模小、污水量小、经济

表1 广西农村生活污水水质特征

项目	污水水质/ (mg·L ⁻¹)					
	pH	悬浮物	化学需氧量	氨氮	总氮	总磷
平均值	—	34.0±23.3	87.3±75.5	25.7 ± 19.9	43.2 ± 33.6	2.3 ± 1.5

[作者简介] 梁有千，华蓝设计（集团）有限公司建筑机电与环保设计二所，副所长，高级工程师、注册环保工程师。

黄丽娟，华蓝设计（集团）有限公司建筑机电与环保设计二所，副总工程师，高级工程师、注册环保工程师、注册公用设备工程师、注册咨询（投资）工程师，硕士。

韩 彪，广西环境保护科学研究院，院长助理，教授级高级工程师。

王 林，广西宏业环保节能工程有限公司，总经理，高级工程师。

条件较差的农村广大地区，如土地资源和环境允许，也可用于大中型污水厂污水处理。生态化处理常用的成熟工艺有人工湿地、稳定塘、土地处理等。

依据广西农村环境现状特点，结合生态化处理工艺的优点及应用有利条件，广西农村生活污水处理很适合采用生态处理技术。

3 生态处理技术应用的有利条件及思路

3.1 生态处理技术应用的有利条件

(1) 生态文明建设和规范等要求。中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《农村人居环境整治三年行动方案》^[2]中鼓励采用生态处理工艺。《县域农村生活污水治理专项规划编制指南》（试行）^③中鼓励优先选择氮磷资源化与尾水利用的技术手段或途径。广西《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》（征求意见稿）中的一般要求优先选用生态处理技术。

(2) 生态处理技术优点与农村现状弱点互补性好。生态处理工艺的低成本、低能耗、易维护特点，很好地弥补了农村因自身的人文、经济、技术、管理方面的种种不足和现状制约，可成为农村污水处理的可持续性发展模式。

(3) 标准排放要求。广西《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》（征求意见稿）中，出水水质标准分级，主要根据处理规模和受纳水体环境敏感性等不同，设置的排放标准也不同；标准分级充分体现了利用大自然生态环境容量、环境自净能力，也为生态处理技术应用创造更有利条件。

(4) 环境条件适宜。广西年均气候温暖，丘陵和山地的地形高差可跌水充氧，利于克服生态处理工艺中的普遍存在的冬天温度低和溶解氧不足问题。

(5) 农村、农业特有条件。丰富的土地资源及农业对氮磷等营养物有强大的需求和消纳能力，这一点是农村所特有的，是小型、分散式农村污水治理实现无害化和氮磷资源化利用的有利条件^①。生态处理工艺的应用体现氮磷资源化与尾水利用原则，实现就地生态循环处理。

3.2 生态处理技术应用的思路

生态技术应用宜遵循的基本原则：社会效益、经济效益、环境效益相统一原则。因地制宜、分类指导原则：采用污染治理与资源利用相结合、工程措施与生态措施相结合、集中与分散相结合的建设模式和处理工艺。可持续性原则：生态处理技术的低成本、低能耗、易维护的特点，弥补了农村缺乏专业技术、经济条件

差、管理能力弱的农村现状特点，可实现农村污水处理及运维生产的可持续性。生态循环原则：充分利用大自然的环境容量、发挥其自净能力，就地回归小循环生态圈，实现生态平衡。生态处理与农村人居环境综合治理相结合原则：通过对沟渠洼地水塘的疏导、浚等综合措施恢复水生态，逐步消除农村黑臭水体，恢复自然的生态功能。优先氮磷资源化与尾水利用原则：农村特有的广阔土地资源及农业对氮磷等营养物有强大的需求和消纳能力。

美丽乡村是一个良好的自然生态环境系统，应充分利用和发挥其环境容量和自净能力。基于生态文明建设和应用原则，紧紧围绕农村、农业的需求和特点，是生态处理技术应用的基本思路。以疏导为主，顺应当地的自然环境条件，通过适当疏浚、修复、改造等方法，因地制宜因势利导，充分利用丘陵、山地等形成的高差，进行跌水充氧，通过清淤、疏浚进行布水，并种植植物进行生态修复等改造手段，提高生态处理能力和效率，融入景观生态美化农村人居环境；以房前屋后小溪河、塘、沟、渠、洼地、湿地为重点，实施清淤、疏浚、修复、改造等环境综合治理措施恢复水生态，逐步消除农村黑臭水体，恢复自然生态功能，推进农村污水治理，提升村容村貌；推广氮磷资源化与尾水利用的生态农业模式。

4 生态处理技术应用关键点

4.1 强化污水预处理

农村生活污水大多雨污混流、排水设施不完善，且含悬浮物较高、初雨污染严重，需加强预处理，可设置格栅拦截较大的悬浮物；可设厌氧池（沼气池）沉淀去除更多的悬浮物；也可设置前置塘、生物滞留带初沉等海绵预处理措施，以利于和保障后续生态处理正常运行。

4.2 布水均匀性

布水的均匀性是生态处理的关键因素，若断流后形成死水区，容易腐化发臭发黑，影响溶解氧的均匀分布；禹浩等研究发现湿地前部污染物去除速率较快的方向与水流流速较快的方向基本一致^[3]。

4.3 溶解氧

生态处理系统所需的溶解氧，宜通过控制运行条件、改变水力流态等低能耗甚至无能耗的方式复氧。可利用广西丘陵地区的特有地形条件进行跌水复氧，这是解决溶解氧问题的可行思路；也可采用湿地间歇充水放水运行对湿地床体复氧，或优选的植物根系泌氧进行复

氧。有研究认为跌水曝气复氧预处理效果明显能够满足人工强化生态滤床复氧量要求；当跌水曝气高度在0.6m以内跌水曝气呈现稳定增加，两者之间具有正相关关系。间歇式潜流人工湿地（或潮汐流人工湿地）等均能明显提高湿地的复氧能力，聂志丹等研究发现采用间歇运行方式可使人工湿地复氧能力提高51.1%^[4]；柳明慧等研究发现潮汐流人工湿地拥有较高的氧利用率及较好的复氧能力^[5]。选择种植合理的植物，利用植物根系泌氧进行复氧；选择生长旺盛根系发达和光合作用较强的湿地植物，可以适当降低污水的负荷，改善湿地溶解氧条件^[4]。

4.4 温度

广西年均气温21.7℃，气候温暖，有利于湿地基质中微生物和植物的生长以及维持稳定的去除率。

4.5 防堵塞

湿地基质是人工湿地的重要组成部分，预防堵塞的主要措施有：前述的强化污水预处理，降低SS进入生态系统；采用适当的污水负荷和选择合适的基质粒径和级配，基质层的结构改良以及新产品的应用，均可减少基质的堵塞；采用间歇投配污水（即落干和投配交替运行）会使土壤得到“休息”，保证土壤一定的好氧状态，避免胞外聚合物的过度积累，防止土壤堵塞。目前间歇运行方式在我国的许多工程和实验中得到了重视和应用，同时也取得了一定的效果^[6]。

4.6 水力负荷

合理的水力负荷可节约用地，较低的负荷下，基质填料不易堵塞。当要求与生态景观相匹配时，也可采用较低的负荷。运行结果表明，间歇式潜流人工湿地（潮汐流人工湿地）的进水负荷约为传统潜流人工湿地的2倍^[4]。

4.7 植物优选

植物是生态处理的重要组成部分，其根系对微生物生长和污染物净化起着重要作用，不但能去除污染物，还能美化环境。可根据污染物去除指标、溶解氧指标等要求，选择吸附污染能力强的或根系发达泌氧能力强的植物

种植；同时注意植物的匹配性，植物可能通过释放化学物质，促进或抑制周边植物的生长，Szczepeński^[7]报道了宽叶香蒲、水葱、木贼、苔草等植物体腐烂产生的化感物质对芦苇生长、繁殖具有抑制作用。选择合理的收割时间可能是发挥湿地植物吸收污染环境氮、磷等的关键^[8]，掌握好植物收割和轮换周期，既可充分发挥植物的去污能力，又能保持景观效果。

4.8 运行维护

日常运行维护是生态处理系统正常持续运行的关键一环，科学的运行管理可以保持生态处理系统对污染物稳定、高效的去除效果，同时适当的管理维护，还可以解决生态处理系统可能带来的负面生态问题，充分发挥其美化景观、丰富物种的生态效应。

5 生态处理常用技术

5.1 表流人工湿地

应用的环境条件：土地面积相对丰富的地区，有小溪、沟渠、较大的坑塘、洼地或沼泽地、滩涂等天然条件的地区，且离居民区较远。工程措施：根据沟、渠、坑塘等地形进行疏浚、修复改造为表流人工湿地，在此基础上进行水流导向设置，防止死水、发臭，把沟渠改造成小生态循环系统。主要技术参数^[9]如表2。

表2 表流人工湿地技术参数

表流人工湿地常规处理设计参数			
水力负荷	BOD ₅ : 表面负荷	去除效率	水力停留时间
≤0.1 (m ³ /m ² ·d)	(3.5-5.5) g/ (m ² ·d)	40%~70%	≥4d

5.2 潜流人工湿地

应用环境条件：土地面积相对丰富的地区，有沟渠、坑塘等天然水体、荒地、荒地、洼地或沼泽地、滩涂等地区。工程措施：根据荒地、沼泽地、坑塘等特点，在原有基础上进行疏浚、修复、改造为潜流人工湿地，增加填料单元、布水系统，工程量比表流稍大。主要技术参数如表3。

5.3 生态塘

应用环境条件：有水塘、低洼地、沟、渠、沼泽地等土地资源丰富农村地区。工程措施：根据水塘、湿

表3 潜流人工湿地技术参数

水平潜流常规处理设计参数		垂直潜流常规处理设计参数	
水力负荷	≤0.35 (m ³ /m ² ·d)	水力负荷	≤0.6 (m ³ /m ² ·d)
BOD ₅ : 表面负荷	(6-10) g/ (m ² ·d)	BOD ₅ : 表面负荷	(7-10) g/ (m ² ·d)
去除效率	45%~80%	去除效率	50%~85%
水力停留时间	≥1d	水力停留时间	≥1d

表4 生态塘技术参数

常规处理兼性塘设计参数		常规处理好氧塘设计参数		常规处理曝气塘设计参数	
BOD ₅ : 表面负荷	(6-8) g/ (m ² ·d)	BOD ₅ : 表面负荷	(2-3) g/ (m ² ·d)	BOD ₅ : 表面负荷	(14-25) g/ (m ² ·d)
去除效率	50%~75%	去除效率	60%~85%	去除效率	60%~80%
水力停留时间	≥4d	水力停留时间	≥10d	水力停留时间	≥8d

塘、水沟、山渠、低洼地等地形特点进行改造成循环链生态塘系统。宜与当地的生态农业相结合,使污水处理成为生态农业的一个组成部分,形成污水回用与再利用的生态农业模式,实现污水的无害化和资源化^[10]。可构建具备渔业养殖、调节水源、防洪抗旱等多功能的生态塘^[11],既有环境效益,又有经济效益,形成可持续的良性循环;也可以构建水下森林式生态塘,美化生态环境。生态塘运行需定期进行清淤。主要技术参数如表4。

5.4 土地处理

应用环境条件:环境容量大,远离水源保护区,分散的农村居民点、度假村等;林地、废地、荒地等土地资源丰富、气候条件较好的农村地区^[12]。工程措施:宜与农业相结合实现氮磷资源化和水资源利用,并同绿化美化环境相结合;可经化粪池预处理后就地回用于林灌、农用、荒地等土地渗滤处理。土地处理工艺基建投资少,只有常规处理的1/3~1/2,运行维护费只有常规处理的1/5~1/3^[13]。主要技术参数如表5。

表5 土地处理工艺参数

年水力负荷 (m/年)		
慢速渗滤	快速渗滤	地表漫流
0.5~5 (m/年)	5~120 (m/年)	3~20 (m/年)

5.5 多种生态组合模式

可持续发展的农村污水治理技术应是包含多种单元技术的可选组合技术系统,具有高适用性、针对性^[14]。所以因地制宜采用多种生态处理组合技术,可充分发挥各自技术的优点,如表流+潜流人工湿地、生态塘+人工湿地,等等。

6 结论

生态处理工艺充分利用大自然的生态环境自净能力和环境容量,体现了就地回归自然生态链中的生态平衡理念,其有低成本、低能耗、易维护、生态性的特点。生态处理模式很好地适应广西农村农业特有的现实环境,是顺应自然的可持续的农村生活污水治理模式,美化了环境,构建了人与自然的和谐发展。

[注释]

- ①吕锡武:农村生活污水生物生态耦合治理模式与单元关键技术,中国给水排水直播课,2020年5月14日,14:00-16:00。
- ②广西壮族自治区市场监督管理局:广西地方标准《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(征求意见稿)。
- ③中华人民共和国生态环境部:《县城农村生活污水治理专项规划编制指南(试行)》,2019年9月。

[参考文献]

- [1]徐荣乐,韩彪,于嵘,等.广西农村生活污水集中处理工艺综合评价[J].桂林理工大学学报,2017,37(2):354-359.
- [2]中共中央办公厅 国务院办公厅印发《农村人居环境整治三年行动方案》[J].新疆农业科技,2019(1):8-11.
- [3]禹浩,彭书传,王进,等.尾水潜流湿地处理系统水力学特征与污染物分布研究[J].给水排水,2016,52(S1):33-37.
- [4]惠斌,顾银海,张金戈.人工湿地强化复氧技术研究现状及设计构想[J].绿色科技,2014(1):153-156.
- [5]柳明慧,吴树彪,鞠鑫鑫,等.潮汐流人工湿地污水强化处理研究进展[J].水处理技术,2014,40(5):10-15.
- [6]黄锦楼,陈琴,许连煌.人工湿地在应用中存在的问题及解决措施[J].环境科学,2013,34(1):401-408.
- [7]Szczepa ń ski Andrzej J. Allelopathy as a means of biological control of water weeds[J]. Szczepa ń ski Andrzej J. 1977(3):193-197.
- [8]郭长城,胡洪营,李锋民,等.湿地植物香蒲体内氮、磷含量的季节变化及适宜收割期[J].生态环境学报,2009,18(3):1020-1025.
- [9]中华人民共和国住房和城乡建设部.污水自然处理工程技术规程:CJJ/T 54-2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017:3.
- [10]张巍.生态稳定塘系统处理农村及小城镇生活污水的现状 & 前景[J].江苏农业科学,2013,41(2):329-332.
- [11]刘君,邱敬贤,黄安涛.农村生活污水分散式生态处理工艺技术分析[J].再生资源与循环经济,2018,11(9):37-39.
- [12]顾霖,吴德礼,樊金红.农村生活污染综合治理模式与技术路线探讨[J].环境工程,2016,34(10):113-117.
- [13]封丹,严群,李健昌,等.生活污水土地处理技术[J].四川有色金属,2009(1):36-40.
- [14]吕锡武.可持续发展的农村生活污水生物生态组合治理技术[J].给水排水,2018,54(12):1-5.