

文章编号:0559-9350(2020)02-0245-08

## 农村不同排污方式水质调查与治污新策略

朱木兰<sup>1</sup>, 黄永福<sup>2</sup>, 李地金<sup>1</sup>, 王思越<sup>2</sup>, 陈恩<sup>2</sup>

(1. 厦门理工学院 水资源环境研究所, 福建 厦门 361024; 2. 福建省水利水电勘测设计研究院, 福建 福州 350001)

**摘要:** 目前全国各地正在积极推进农村生活污水整治工作, 为了该项工作能够合理选用最佳排污方式即污水收集方式, 选取厦门某个亟待整治的村庄, 针对该村3种不同排污方式即污水经PVC管道排放、排水沟排放和荒地排放, 开展了水质调查。调查结果表明, 从荒地排出的污水水质最好, 经简单沉淀后有望满足农田灌溉标准; 其次是硬化排水沟; 水质最差的是PVC管道。基于该调查结果, 提出农村污水整治工作应改变目前简单效仿城市采用管道排污的思维, 建议充分利用农村中现有荒地这种天然土壤渗滤系统; 充分利用农村现有排水沟进行排污以便沿程削减污染物质, 应尽量避免新建排污管网。最后, 本文还提出一种治污新措施即集生态景观与“渗、蓄、滞、净、排”功能于一体的LID新型排水沟。

**关键词:** 农村生活污水; 水质调查; 排污方式; LID新型排水沟

**中图分类号:** X52

**文献标识码:** A

**doi:** 10.13243/j.cnki.slxb.20190707

## 1 研究背景

目前全国各地正在积极推进农村生活污水整治工作, 而分散式处理设施是农村生活污水的主要治理措施, 其处理工艺的选择不仅取决于处理设施出水水质设计标准要求, 还与设施的进水水质密切相关。笔者在农村实地调查中发现, 农村分散式污水处理设施通常设置在紧邻村庄的村外空地、各家各户产生的污水经村庄的排污系统或称污水收集系统进入分散式处理设施(对于污水产生的源头即村庄而言, 这个系统是污水排放系统即排污系统, 而对于设置在排污系统末端的污水处理设施而言, 这个系统又称作污水收集系统)。有些村庄的排污系统直接利用了村庄原有的明渠式或暗渠式的雨污合流式排水沟, 有些村庄则废弃村庄内原有的明渠排水系统重新建设排污管网以实现雨污分流, 且后者逐渐在农村污水治理工作中成了主导趋势。显然, 设置在排污系统末端的污水处理设施其进水水质不仅与源头各家各户所产生的污水水质密切相关, 而且还与排污方式有关。

然而, 不同类型的排污方式或称污水收集方式对污水处理设施进水水质具体会产生多大程度的影响, 选择何种排污方式更有利于农村污水的治理效果, 一直以来未能引起足够的关注, 也因此缺乏相关调查研究与明确的定论。虽然目前已有不少研究者针对农村生活污水水质特征开展了调查研究, 但已有的这些研究或简单汇总农村生活污水的各项水质指标如酸碱度pH、化学需氧量COD、五日生化需氧量BOD<sub>5</sub>、总磷TP、总氮TN、氨氮NH<sub>3</sub>-N和悬浮物SS等的取值变动范围<sup>[1-2]</sup>, 或局限于从季节、区域、农户经济收入等方面来分析农村生活污水的水质变动情况<sup>[3-5]</sup>, 鲜见有针对不同排污方式如管道排污或排水沟排污来分类开展农村生活污水水质调查。因此, 在农村污水整治工作中, 排污系统或称污水收集系统其最佳方式选择一直缺乏科学合理的判断依据, 对排污方式即污水收集方式的选择往往简单效仿城市做法仅从环境卫生、雨污分流需要等出发而采用管网, 缺少从水质这个

收稿日期: 2019-10-11; 网络首发时间: 2020-03-10

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1882.TV.20200309.1457.001.html>

基金项目: 福建省水利科技项目(MSK201713); 福建省科技计划项目(201910021); 厦门市建设与管理局建设科技项目

(XJK2018-1-2)

作者简介: 朱木兰(1967-), 教授, 博士, 主要从事雨水资源利用与水污染控制研究。E-mail: zhuml@xmut.edu.cn

层面上进行分析比较与选用。

笔者在农村实际调查中还发现，不少农村分散式污水处理设施简单套用城市污水处理厂常采用的厌氧好氧AO、厌氧缺氧好氧A<sup>2</sup>O、膜生物反应器MBR等有动力处理工艺。这不仅带来日后的运行费用问题，更因设施分散农村各地，在广阔的农村地区巡查人员难以全天候进行运行监管而带来诸多问题。如农村常发生断电，管养单位采用间歇性的设施巡查方式无法及时恢复设施的供电，导致好氧池、兼氧池及MBR池等易发生停运，时间一长好氧菌与兼氧菌纷纷死亡，重新供电后菌群难以立即恢复正常生长。另一方面，2019年7月水利部等九部门联合印发了《关于推进农村生活污水治理的指导意见》，意见要求按照因地制宜、利用为先、就地就近、生态循环等基本思路进行农村生活污水治理。在此大背景下，针对目前农村污水治理工作中普遍简单套用城市治污方法所存在的弊病，探讨符合上述通知与意见精神的治污新策略极为必要。

综上，鉴于目前农村污水整治工作中排污系统即污水收集系统日趋管网化却又缺少科学选择依据之问题，针对农村治污方式急需转变简单套用城市做法的思路以符合利用为先、就地就近、生态循环等理念之需求，本研究首先针对厦门某个亟待整治的村庄开展了3种不同排污方式的水质调查，分析比较了pH、COD、BOD<sub>5</sub>、TP、NH<sub>3</sub>-N和SS等6个水质指标随不同排污方式的变化情况，明确了不同排污方式对其排出污水水质的具体影响程度。其次，基于调查结果提出了农村污水治理新策略，包括提出科学选用农村排污方式的建议，以及提出一种符合上述通知与意见精神的LID新型排水沟的治污新措施。

## 2 水质调查对象与方法

**2.1 村庄概况** 水质调查对象村庄为厦门翔安区某一亟待进行污水整治、建设污水处理设施的村庄。该村庄位于厦门翔安区中部，村中多有外来人口，常驻居民约2000人，其中外来人口约800人。根据住房和城乡建设部发布的《农村生活污水处理工程技术标准》，农村在有水冲厕所、有淋浴设施的条件下，农村居民日用水量参考值为100~180 L/人·d，排放系数取水量的40%~80%。按该标准的最高用水量与排放系数估算，该村最高污水日排放量为288 m<sup>3</sup>/d。

**2.2 采样点概况与采样方法** 通过对该村农村生活污水排放情况的实地考察，发现该村存在3种典型的排污方式，即污水通过PVC管道直接排入受纳水体、污水通过村中大大小小的明渠式排水沟排入受纳水体，以及污水先流入排水沟再经过一长条形下凹式荒地漫流后进入受纳水体。为此，本研究针对这3种典型的排污方式，分别选取3个典型的污水排放点进行采样。采样点选取的标准有4点：(1)排污方式具有典型性，能分别代表该村的3种典型的排污方式；(2)排污量相对较大；(3)排出的污水依目测判断相对较脏；(4)所在位置方便采样。

根据上述标准选取的3个采样点的概况如表1所示；针对表1所示的3个取水点，每隔10~14 d前去采样一次，共采样4次，每次采样均选择晴天采样以避免雨水影响。具体采样日期分别为2018年3月16日、3月30日、4月10日和4月20日。每次采样时间固定在中午这个农村用水与排水高峰的时间段。除第1次采样外，每个取水点每次采样采集两瓶水样，第1瓶水样的采样时间固定在每次中午11:20—11:30，第2瓶水样的采样时间固定在11:50—12:00。此外，每瓶水样的体积约为1.5 L，采样瓶为大口圆形聚乙烯瓶。

关于水质调查指标，根据厦建村〔2016〕15号文件，厦门针对农村生活污水分散式处理设施的水

表1 3个采样点的概况

序号	污水排放方式	纬度(北纬)	经度(东经)	备注
No.1	PVC管道排放	24°40'15"	118°14'9"	取水点距离室内污水水源约10m
No.2	排水沟排放	24°40'14"	118°14'9"	取水点距离最近一个污水排入口约30m
No.3	荒地漫流排放	24°40'13"	118°15'2"	取水点距离最近一个污水排入口约40m

质监测考核项目有6项指标，分别是COD、BOD<sub>5</sub>、TP、NH<sub>3</sub>-N、SS和pH。本项目参照该文件通知，选定这6项水质指标作为本研究的水质调查指标。

### 3 水质调查结果与分析

**3.1 水质调查结果** 3个采样点的污水水质调查结果如表2所示。除第1次采样只采集一瓶水样之外，第2至第4次采样均采集2瓶水样，表中每个水质指标的平均值是指4次采样、每次2个水样(除第1次采样仅1个水样外)共7个检测数据的平均值。

表2 3个采样点的污水水质情况表 (单位 (pH除外): mg/L)

编号		COD	BOD <sub>5</sub>	SS	pH	TP	NH <sub>3</sub> -N
No.1	平均值	333	196	193	7.81	4.50	3.86
	最大值	388	252	190	8.01	4.69	4.56
	最小值	295	122	179	7.56	4.32	3.33
No.2	平均值	282	149	160	7.48	2.02	1.60
	最大值	310	185	207	7.93	2.24	1.85
	最小值	240	107	140	7.36	1.73	1.43
No.3	平均值	92	40.0	136	7.52	1.61	1.86
	最大值	109	50.1	168	7.58	1.78	2.02
	最小值	80	31.2	106	7.48	1.43	1.14

### 3.2 结果分析

**3.2.1 不同排污方式的污水水质变化情况分析** 3个采样点 No.1、No.2、No.3 分别对应于3种典型的农村生活污水排放方式，即污水通过PVC管道直接排入接纳水体，污水通过村中大大小小的排水沟排入接纳水体，以及污水先流入排水沟再经过一长条形下凹式荒地渗滤漫流后进入接纳水体。3个采样点其各项水质指标4次采样的平均值的对比图如图1与图2所示，其中图1是3个采样点其COD、BOD<sub>5</sub>、SS等3个水质指标的对比图，而图2则是关于pH、TP、NH<sub>3</sub>-N等3个指标值的对比图。从图1与图2可知，除了pH指标基本保持不变外，其他各项水质指标从No.1到No.2再到No.3呈现出指标值逐渐变小、即水质逐渐变好的明显趋势。这是因为，村中的排水沟虽然是铺设了石头的硬化明渠，但雨天暴雨冲刷地面，雨水径流夹带着被冲刷起来的砂土流入排水沟并在沟床上产生淤积，淤积达到一定厚度的地方滋生出零星的野草；此外，沟底与侧壁均存在石头缝，草籽随风飘落进这些缝隙，也生长出了一些野草。因此这些排水沟虽是硬化的明渠，但却具备了一定的生态性。污水流入排水沟后，由于沟底和侧面均是粗糙的石头，又布满零星的野草，排水沟的糙率系数远大于光滑的PVC排水管道，故污水在沟渠内的流动要比PVC管道缓慢许多，其缓慢的流动过程本身就是一个厌氧反应过程，加上排水沟沿程石头缝隙中的土壤、沟床上淤积的砂土、以及土壤中的微生物、野生植物根系等对污水中的污染物质具有吸附、分解、吸收等作用，故从排水沟排出的污水水质要比PVC排污管出水口的污水水质好。而当污水经过荒地渗滤漫流时，其流速更慢，厌氧反应时间更长，加上比起床面硬化的排水沟，荒地其松软土层的垂直渗滤作用，土壤中微生物的分解作用，植物根系的吸收作用均更强，故流经荒地后的污水水质总体上好于排水沟排出的污水水质。即，除pH值基本保持不变之外，3个采样点的污水其各项水质指标值从大到小即水质从差到好的排列顺序基本上是：No.1>No.2>No.3。但有一个指标即NH<sub>3</sub>-N出现了轻微的异常，No.3采样点与No.2采样点的NH<sub>3</sub>-N值相比，不降反升，其原因考虑为四周农田施氮肥，在风吹雨淋的作用下，No.3采样点的土壤NH<sub>3</sub>-N含量升高，进而导致漫流至此的污水其NH<sub>3</sub>-N指标值反而比No.2采样点高。根据表2可计算出，No.2采样点的污水其COD、BOD<sub>5</sub>、SS、TP和NH<sub>3</sub>-N 5个指标值分别仅为No.1的0.847、0.760、0.829、0.449和0.415倍；而No.3采样点的则分别仅为No.1的0.276、0.204、0.705、0.358和0.482倍。

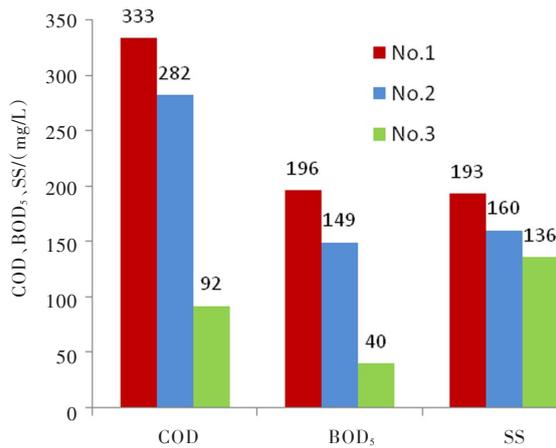


图1 3个采样点其COD、BOD<sub>5</sub>、SS值对比

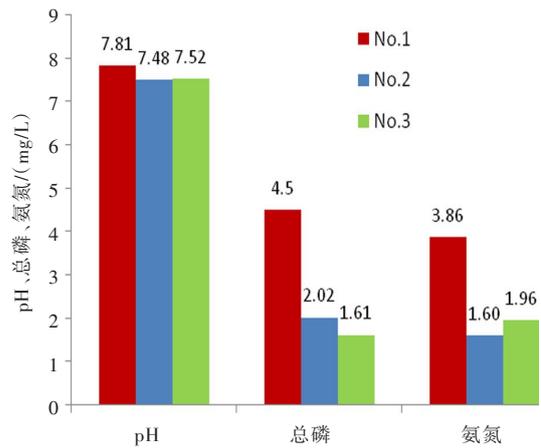


图2 3个采样点其pH、TP、NH<sub>3</sub>-N值对比

3.2.2 显著性检验 必须指出的是，上述3个采样点的各项水质指标值所呈现出来的从大到小的差异性是基于3个采样点各自7个水样的检测结果分析所得到的。但由于样本存在抽样误差，3个采样点所呈现出来的水质检测结果的差异性是由抽样误差造成的，还是由本质不同引起的，有必要通过显著性检验来判明。本文利用Excel的TTEST函数，对No.1与No.2的COD指标值各7次采样的两个样本系列进行双样本异方差条件下的单尾t-检验，获得t-检验的概率值为0.00673，该概率远低于通常所设定的显著性水平0.05与0.01，可见No.2的COD指标值呈现出比No.1小的差异性是由抽样误差造成的概率只有0.673%，不及显著性水平的5%，甚至不及1%，根据小概率事件实际不可能性原理，可推断出No.2的COD值小于No.1的表面效应并非抽样误差导致的，而是本质上的差异性造成的，且单尾t-检验的概率值小于1%，故还可判定这种本质差异性属于十分显著。同理，进一步对No.1与No.2其他4个水质指标BOD<sub>5</sub>、SS、TP、NH<sub>3</sub>-N的2×4个样本系列（每个样本系列的样本容量为7），以及No.2与No.3的所有水质指标的2×5个样本系列做单尾t-检验，结果如表3所示。从表3可知，所有水质指标的No.1与No.2的样本系列、No.2与No.3的样本系列间的t-检验的概率值都是小于等于0.05，且所作的t-检验是单尾检验，因此可得出所有水质指标值所呈现的No.1>No.2、No.2>No.3之趋势是由本质上的差异性引起的，且这种差异性十分显著。换言之，不同排污方式的农村生活污水，其水质特征呈现出十分显著的差异性，农村中的排水沟与荒地均是天然的净化设施，特别是荒地的净化效果更为显著。

表3 No.1与No.2、No.2与No.3间的显著性检测结果（t-检验的概率值）

水质指标	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	TP	NH <sub>3</sub> -N
No.1与No.2样本间的t-检验结果(概率值)	6.73×10 <sup>-3</sup>	5.0×10 <sup>-2</sup>	9.62×10 <sup>-4</sup>	3.91×10 <sup>-12</sup>	1.78×10 <sup>-6</sup>
No.2与No.3样本间的t-检验结果(概率值)	3.61×10 <sup>-7</sup>	2.41×10 <sup>-4</sup>	1.68×10 <sup>-4</sup>	6.74×10 <sup>-14</sup>	1.39×10 <sup>-6</sup>

还须说明的一点是，本文未采用方差分析法同时进行三者之间的显著性检验，是因为即使方差分析法检验出三者平均数间差异显著，也不能代表其中任意的两者之间差异显著，即无法说明No.1>No.2、No.2>No.3都是属于本质上的差异所引起的。故本文采用t-检验进行两两分组检验。

3.2.3 与农田灌溉水质标准的比较分析 2018年9月生态环境部、住房和城乡建设部印发了《关于加快制定地方农村生活污水排放标准的通告》，该通知鼓励采用生态处理工艺，要求加强生活污水源头减量和尾水回收利用。而农田灌溉就是一种十分适合于农村的污水回收利用方式。为了明确该村经3种典型排污方式排放出来的生活污水其水质情况能否直接进行农田灌溉回用，将3个采样点的COD、BOD<sub>5</sub>、SS和pH等4个水质指标的变化范围与农田灌溉水质标准(GB5084-2005)中旱作与水作标准进行对比(农田灌溉水质标准对TP与NH<sub>3</sub>-N两水质指标不做要求)，比较结果如表4所示。当然，农田灌溉用水水质基本控制项目一共有16项指标，但在农村污水处理设施实际考评工作中，往

往受限于精力与财力只能抽检若干个重要指标，这里所选用的4项指标是目前各地考评污水处理设施常用的4个重要指标，其他指标有待今后进一步调查研究，但通常认为农村作为非工业区其污水有关重金属方面的水质指标不会存在问题。

从表4可知，No.1、No.2的污水水质无法满足农田灌溉水质标准(旱作和水作)，这两个采样点除了pH，其他3项水质指标即使是最小值也都超过了标准的限值。但是，No.3的污水水质除了SS这项指标外，其他3项指标COD、BOD<sub>5</sub>和pH，无论是最小值还是最大值均能满足旱作与水作的农田灌溉水质标准。由于SS这项指标，只需经过静置或过滤即可去除，因此排污方式为荒地漫流的No.3的污水有望经过简单的砂滤处理后回用于农田灌溉。

表4 3个采样点污水水质与旱作农田灌溉水质标准的比较

	BOD <sub>5</sub> /(mg/L)	COD/(mg/L)	SS/(mg/L)	pH
农田灌溉水质标准(旱作/水作)	100/60	200/150	100/80	5.5~8.5
最小值~最大值(No.1)	122~252	295~388	179~190	7.56~8.01
最小值~最大值(No.2)	107~185	240~310	140~207	7.36~7.93
最小值~最大值(No.3)	31.1~50.2	80~109	106~168	7.48~7.58

## 4 治污新策略

**4.1 排污方式的选用** 3个采样点分别代表农村3种典型的排污方式，即：管道排污方式、排水沟排污方式和荒地漫流排污方式。由于本研究是在同一个村庄进行采样，村内居民生活习性相近，从各家各户流入管道、排水沟及荒地的源头污水水质其平均情况可视作基本相似，导致最后经不同排污方式所排出的污水其水质存在显著差异性的主要原因就在于排污方式的不同。换言之，选择不同类型的排污方式即污水收集方式将显著影响设置在排污系统末端的污水处理设施其进水水质，而进水水质越好污水处理工艺就越能简单化。从3.2.1节和3.2.2节可知，经荒地排出的污水水质最好，其次是排水沟，最差是管道。可见，从水质层面上考虑，最不适合采用的排污方式就是管道。

但笔者在实际调查中发现，目前，越来越多的农村在污水整治工作中效仿城市雨污分流的作法，废弃农村现有的排水沟去新建管网进行排污。然而，在农村简单效仿城市雨污分流的作法其实会带来一些问题。具体而言，农村一些土沟渠本来平常排污水、遇雨天时即排污水又排雨水径流，沟渠因终年有水流动而能保持良好的输水功能。但随着农村新建排污管网进行污水整治，土沟渠成了排放雨水径流的专门渠道，由于土沟渠平日再无污水流动，草籽随风飘落土沟渠后极易落地生根，土沟渠慢慢变成长满荒草的荒废之地，遇汛期大雨时这些土沟渠难以排放雨水径流导致村庄内涝。再者，现有一些研究结果表明，初期雨水径流其污染程度甚至比生活污水更为严重，如广东省东江上游某住宅商业区初期雨水径流的COD值最高达到了1136 mg/L<sup>[6]</sup>，天津典型居民区菜市场的初期雨水径流COD最高值达到了1450 mg/L<sup>[7]</sup>，是PVC管道排放的污水其COD值的3~5倍。虽然针对农村地区的初期雨水径流水质调查结果目前鲜见报道，但农村通常散养鸡鸭，堆放各种烂菜叶，其初期雨水径流污染程度预估比城市商业区与居民区菜市场的污染更为严重。雨污分流的旨意本在于保证设计处理吨数有限的污水处理设施能够抓大放小，即抓住污染最大的农村生活污水进行处理，忽视污染小的雨水径流进行直接排放。但实际上与农村生活污水相比，农村初期雨水径流才是更大的污染源。因此，在选择农村污水排污方式上，应改变目前简单效仿城市采用管道排污的思维，建议如下。

在有荒地且近期没有开发利用这些荒地的农村，应优先利用荒地这种现成的天然土壤渗滤系统，将污水排入荒地，经荒地渗滤漫流后再进入采用简单处理工艺的污水处理设施如沉淀池，使出水水质达到农田灌溉标准后回用于农田。此外，有研究表明土壤渗滤系统的净化能力主要发生在土层表层和近表层50 cm以内<sup>[8]</sup>，大部分可降解有机物在0~20 cm的上部区域得到降解<sup>[9]</sup>，COD与TN

在 30 cm 深度其去除率已占到总去除率的 90%<sup>[10]</sup>，因此利用荒地来净化农村生活污水时，为了防止地下水受污染，可对荒地做适当的改造，如在表土层 30 ~ 50 cm 下铺设防渗土工布或采取其他防渗措施后再回填表土。

在有现成排水沟的农村，应尽量避免重新建设管网进行排污，应充分利用村中现成的排水沟将污水收集至荒地，或充分利用污水处理设施，通过沟渠与荒地沿程削减污染物质，降低最终进入污水处理设施的污染负荷，从而有望简化设施的污水处理工艺，同时还可节省新建管网的费用。农村污水处理技术不宜过度追求深度处理的复杂技术而导致设施日后运行易出故障、成本增加、维护困难等问题，应以能在农村天天正常运行且易于维护的简单技术为主流技术，而降低最终进入污水处理设施的污染负荷是实现这种主流技术的重要抓手之一，故应充分重视排水沟的利用。

此外，可结合环境卫生需求，在明渠式的排水沟上加盖留有雨水口的盖板，将它简单改造成不影响通行观感的暗渠式的排水沟。

**4.2 LID 新型排水沟之治污新措施** 虽然与管道相比，农村硬化的排水沟也具备了一定的生态性和沿程削减污染物质的能力，但和荒地的净化效果相比差距依然显著。而另一方面，荒地这种天然的土壤渗滤系统并非每个村庄均存在，因此，如何使排水沟具备荒地的渗滤净化效果是个值得研究的课题。再者，农村排水沟为雨污合流式沟渠，既排放生活污水又排放雨洪，如何充分利用这些排水沟削减初期雨水径流污染也是一个重要课题。

为了探讨上述两个课题，笔者提出改建硬化排水沟使其成为具有“渗、蓄、滞、净、排”功能与生态景观功能的 LID 新型排水沟。目前我国正在推行基于 LID 理念<sup>[11-12]</sup>的海绵城市建设，其基本建设思路是通过综合采用“渗、蓄、滞、净、排”方式来减少径流排水量和截污。前述已指出城市的初期雨水径流其污染程度甚至比生活污水更为严重，因此这种 LID 理念不仅适用于城市雨水径流污染治理，同时也适用于农村污水治理。所谓的 LID 新型排水沟是一种可同时治理污水与雨水问题的新型沟渠，其总体结构与已获得发明专利授权的 LID 型雨水沟渠<sup>[13]</sup>其结构基本相同，在纵向结构上沿沟渠每隔一段距离连续设置蓄水堰，使沟渠沿程形成一系列连续分布的蓄水池，每个蓄水堰上设置溢流口。在垂向结构上为了增强对生活污水的净化效果及收集利用，可借鉴雨水花园<sup>[14]</sup>或 LID 型道路绿化带<sup>[15]</sup>的结构对 LID 型雨水沟渠的原有结构作些改良，改成自上到下由蓄水层、内埋污水布水管的覆盖层、人工改良土壤层、过渡层、内埋穿孔集水管的排水层及防渗层组成。覆盖层建议采用大粒径的鹅卵石等填料，以保障该层渗透性能良好污水能通过该层的布水管迅速下渗至人工改良土壤层从而保持沟渠表面干爽美观，并同时保障暴雨季节人工改良土壤层不会被冲刷流失；蓄水层平日不发挥作用，遇暴雨时可贮蓄来不及下渗的初期雨水径流。人工改良土壤层可采用粒径较大的砂子、火山岩等多种填料与当地土壤进行混拌形成人工改良土壤后进行填充，这不仅能提高当地土壤的渗透性能从而满足设计水力负荷、而且还能提高改良土壤对污染物质的吸附能力及土壤微生物的多样性从而增强水质净化效果，李斌等<sup>[16]</sup>的研究成果表明采用多种填料混合填充或同种填料选用较大粒径有利于提高微生物多样性。此外，正如前述，土壤渗滤系统的净化能力主要发生在土层表层和近表层 30 ~ 50 cm 以内，故建议人工改良土壤层其层厚采用 30 ~ 50 cm。另外，过渡层可采用粗砂（此时又称砂层）；排水层可采用 2 ~ 8 mm 的碎石或砾石（此时又称砾石层），排水层从上到下进一步分成 3 层，颗粒从细变粗以便托住上层的土壤与砂子，如上层粒径采用 1 ~ 3 cm，中层 2 ~ 5 cm，下层 5 ~ 8 cm；防渗层可采用铺设不透水土工布。污水经覆盖层内的布水管流入这种新型排水沟后经垂向渗滤净化后下渗至排水层最底层，通过设在排水层最底部的穿孔集水管排出，其出水水质有望满足农田灌溉标准，可回用于农田灌溉。雨天时，由于这种新型排水沟沿程设有蓄水堰，来不及下渗的雨水径流会暂时贮蓄在排水沟沿程那一系列的蓄水池内，而后再慢慢经垂向渗滤净化后通过最底层的穿孔集水管排出，只有当大量雨水径流进入排水沟并超出蓄水堰高程后才会被直接排走，但污染负荷最大的初期雨水径流却能被截流在沟内慢慢经垂向渗滤后再排出。这种 LID 新型排水沟实质上就是将荒地的渗滤净化作用改良后搬入排水沟中，不仅能净化农村生活污水而且能削减初期雨水径流污染。

采用LID新型排水沟这种治污新措施具有如下优点：经LID新型排水沟沿程净化后的污水，其水质有望满足农田灌溉标准，可回用于农田灌溉，符合就地就近、生态循环的农村污水治理新要旨；不仅可以净化生活污水与初期雨水径流，而且通过贮蓄初期雨水径流，可削减一部分暴雨径流量，从而可减少暴雨期间河流的行洪压力，实现治污与治水的协调统一；不仅可以治污和治水，而且通过在沟渠内的人工改良土壤层中种植耐涝耐污木本植物可形成生态景观带，呼应美丽乡村生态景观建设的需要。

目前，在福建莆田市仙游县盖尾镇，笔者已联合当地污水厂开展该种LID新型排水沟的示范工程建设。其核心技术在于人工改良土壤层，通过对土壤进行改良，不仅使改良后的土壤具备良好的净化效果，而且具备良好的下渗能力以满足设计水力负荷，同时还具备一定的持水能力，适宜于高大的木本植物生长。不采用湿地常种植的草本植物的原因在于，首先草本植物不如木本植物日后易管养；其次暴雨期间沟渠内若密布低矮植物不利于行洪。

## 5 结论

本文针对厦门翔安区某一亟待整治的村庄，开展了经PVC管道排放、排水沟排放、荒地排放3种典型的排污方式的水质调查与分析比较，并基于调查结果探讨了农村治污新策略。主要结论如下：

经PVC管道、排水沟、荒地3种设施排放的污水pH值基本相同，但COD、BOD<sub>5</sub>、SS、TP、NH<sub>3</sub>-N等5个指标呈现显著差异性。经荒地排出的污水其水质最好，其次是排水沟，水质最差的是PVC管道。经排水沟排出的污水其COD、BOD<sub>5</sub>、SS、TP、NH<sub>3</sub>-N等5个指标值分别仅为PVC管道排放的0.847、0.760、0.829、0.449和0.415倍；而经荒地排出的则分别仅为PVC管道排出的0.276、0.204、0.705、0.358和0.482倍。

经荒地排出的污水除了SS这个水质指标外，其他COD、BOD<sub>5</sub>、pH等3个水质指标均达到旱作与水作农田灌溉水质标准。故经荒地排出的污水经简单沉淀后有望回用于农田灌溉。

农村污水整治工作应改变目前简单效仿城市采用管道排污的思路，建议充分利用农村中现有荒地这种天然土壤渗滤系统；充分利用农村现有排水沟进行排污以便沿程削减污染物质，应尽量避免新建排污管网；最后建议结合美丽乡村生态景观建设需求、初期雨水径流污染量削减需求以及治污与治水协调统一需求，进一步将农村的排水沟改建成具有“渗、蓄、滞、净、排”与生态景观功能的LID新型排水沟。

## 参 考 文 献：

- [ 1 ] 刘晓慧.安徽省农村生活污水成分特征与排放规律研究[D].合肥:合肥工业大学,2016.
- [ 2 ] 廖日红,顾华,申颖洁,等.北京市农村生活污水排放现状调研与分析[J].中国给水排水,2011,27(2):30-33.
- [ 3 ] 梁瀚文,刘俊新,魏源送,等.3种典型地区农村污水排放特征调查分析[J].环境工程学报,2011,5(9):2054-2059.
- [ 4 ] 周晓莉,俞锋,朱光灿,等.江苏农村生活污水处理设施进水水质调查分析[J].环境工程学报,2017,11(3):1445-1449.
- [ 5 ] 万寅婧,王文林,唐晓燕.太湖流域农村生活污水排放特征研究—以宜兴市大浦镇为例[J].污染防治技术,2013,26(3):13-16.
- [ 6 ] 张郁婷,陈永华,汤春芳,等.东江上游高风险支流不同功能区初期雨水径流污染特征分析[J].生态环境学报,2017,26(11):1942-1949.
- [ 7 ] 许伟,常素云,占强.天津典型居民区不同下垫面雨水径流污染特征[J].水资源保护,2017,33(5):159-163.
- [ 8 ] 邢乃春,陈雷.粗砂填料基质和土壤渗滤系统在人工湿地应用中的污染物去除机理研究[J].水利规划与

- 设计, 2012(5): 44-47.
- [ 9 ] CUYK S V, SIEGRIST R, LOGAN A, et al . Hydraulic and purification behaviors and their interactions during wastewater treatment in soil infiltration systems[J] . Water Research, 2001, 35(4) : 953-964 .
- [ 10 ] 吕晶晶, 窦艳艳, 张列宇, 等 . 改良型土壤渗滤系统处理生活污水脱氮除磷[J] . 环境工程, 2018, 36(3) : 38-43 .
- [ 11 ] COUNTY P G S . Low-impact development design strategies: An integrated design approach[R] . Prince George' s County, MD Department of Environmental Resources, 1999 .
- [ 12 ] United States Environmental Protection Agency . Low impact development (LID) : a literature review[R] . Washington, DC: EPA, 2000 .
- [ 13 ] 朱木兰 . 一种LID型雨水沟渠及其设计算法: 中国, 201310555523.8[P] . 2014-2-26 .
- [ 14 ] 陈焱, 刘梦一, 段玲红, 等 . 雨水花园设计要点剖析与应用实例[J] . 环境工程, 2017, 35(12) : 6-10 .
- [ 15 ] 朱木兰, 廖杰, 陈国元, 等 . 针对LID型道路绿化带土壤渗透性能的改良[J] . 水资源保护, 2013, 29(3) : 25-28 .
- [ 16 ] 李斌, 杨继富, 赵翠, 等 . 曝气生物滤池处理农村生活污水效率与微生物群落分析[J] . 水利学报, 2017, 48(12) : 1419-1428 .

## Water quality survey for different drainage ways of sewage and new strategy for pollution control in rural areas

ZHU Mulan<sup>1</sup>, HUANG Yongfu<sup>2</sup>, Li Dijin<sup>1</sup>, WANG Siyue<sup>2</sup>, CHEN En<sup>2</sup>

(1. *Water Resources and Environmental Institute, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;*

2. *Fujian Provincial Investigation, Design & Research Institute of Water Conservancy & Hydropower, Fuzhou 350001, China)*

**Abstract:** At present, rural sewage treatment is being actively promoted throughout the country. In order to select the reasonable way of sewage drainage namely sewage collection, a village in Xiang'an District of Xiamen City with an urgent need of sewage treatment is selected to conduct water quality surveys for comparing the effects of three representative ways of sewage discharge, namely PVC pipe discharge, ditch discharge and wasteland discharge. The survey results show that the water quality for the sewage from the wasteland is the best, and it is expected to meet the irrigation standard after simple sedimentation; and the second is the sewage from the ditch and the worst water quality is that from the PVC pipe. Based on the survey results, it is proposed that the rural sewage treatment work should change the current thinking of simply following the example of urban adopting pipeline. It is suggested to make full use of the existing rural wasteland which is a natural soil infiltration system, make full use of existing drainage ditch and avoid as much as possible to build new pipeline system for sewage drainage in rural areas. Finally, the paper also proposes a new sewage purification measure which is a new LID-type ditch integrating the function of ecological landscape and the functions of "infiltration, storage, detention, purification and drainage".

**Keywords:** rural domestic sewage; water quality surveys; drainage ways of sewage; new LID-type ditch

(责任编辑: 杨 虹)