

南方农村生活污水处理工艺的技术经济评价

林亲铁, 潘建新, 潘汉平, 彭焕龙, 黎宏飞, 赖胜强 (广东工业大学环境科学与工程学院, 广东广州 510006)

摘要 通过对南方农村生活污水处理工艺和运行效果的调查, 分析比较了当前南方农村污水处理厂主要使用工艺的设计参数、出水水质、投资成本、运行成本、占地面积、管理方便度和适用对象等, 并对南方农村生活污水处理主体工艺在不同情况下的适用性进行了评价。

关键词 南方农村; 生活污水; 处理工艺; 技术经济评价

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)05-02186-03

Technical and Economic Evaluation on Southern Rural Domestic Sewage Processing Technique

LIN Qin-tie et al (School of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510006)

Abstract Through investigating the processing technique and operation effect of southern rural domestic sewage, the design parameters, effluent water quality, investment cost, operating cost, land occupation area, economic benefits, technology stability, management easiness degree and applicable objects of current rural sewage processing factory were analyzed and compared, and sewage treatment technology should be chosen according to the actual local conditions in rural areas.

Key words Southern rural; Domestic sewage; Treatment technology; Technical and economic evaluation

我国农村每年产生的生活污水量约为 80 亿 t^[1]。与城市生活污水相比, 农村生活污水中含有较高的人畜粪尿成分, 氮、磷特别是磷含量较高, 对处理工艺及运行管理等方面要求也不一样, 农村生活污水处理不能盲目套用城市生活污水处理模式。为引导和规范农村生活污水处理技术的推广应用, 国家有关部门先后发布了《农村生活污染防治技术政策》(国家环境保护部, 2010) 和《全国六大生态区的农村生活污水处理技术指南》(国家住房与建设部, 2010)。但由于农村地区自然地理条件、资源环境特征及社会经济状况的空间差异性, 决定了农村生活污水处理技术的应用推广必须因地制宜、分类指导。笔者通过对南方农村生活污水处理工艺和运行效果的调查, 分析比较了当前南方农村污水处理厂主要使用工艺的技术经济可行性, 评价了主体工艺在不同情况下的适用性。

1 南方农村生活污水特点及处理方式

1.1 农村生活污水特点 农村污水与城市污水差别较大, 根据现场调查, 南方农村生活污水具有以下特点: ①农村生活污水包括洗涤、洗浴和炊饮污水及人、畜粪尿和家禽养殖废水等, 具有分散、污染物成分简单、有机污染物含量低、水量变化大等特点^[2]。多数农村采用明渠或自然沟渠排放生活污水和雨水, 在经济较发达的地区建有化粪池, 但经化粪池处理后的污水中含有大量的有机污染物, 化粪池出水由明渠排放, 或就近排入水体。②农村居民生活用水量受生活条件(给水系统、卫生器具完善程度、水资源利用方式等)、生活习惯等因素的直接影响, 经济越欠发达的地区, 人均污水排放量越少。同一地区农村污水流量日变化系数一般为 3.0~

5.0, 间歇性排放明显^[3], 季节性变化更为明显。③农村生活污水主要污染物为 COD、氮磷、悬浮物及病菌等, 水质相对较稳定, COD 为 80~200 mg/L, BOD₅ 为 50~120 mg/L, NH₃-N 浓度为 10~25 mg/L, TP 浓度为 1.0~2.5 mg/L, SS 含量为 100~200 mg/L, pH 为 6.0~8.0。

1.2 农村生活污水处理方式 农村地区的生活污水处理采用多种方式。靠近中心城区的近郊生活污水就近排入城市生活污水处理系统; 老城区外围以及大型住宅小区, 配套建设生活污水处理系统; 新开发的住宅区、工业区, 建设污水管接入市政污水管网或建立污水处理设施; 其他散居区域, 建设生态型污水处理系统。南方农村居住点较为分散, 一般以小型聚集点或单独几户零散居住为主。针对大部分农村主要以群落式分布, 或临水而居, 或依山而建, 数量多, 规模小, 分布分散的特点, 目前南方地区主要实行污水单独收集, 充分利用村庄地形地势、水塘及废弃洼地, 采用不同类型的农村分散式污水处理模式, 通过生物、生态组合处理技术, 对污染物实现生物降解, 生态去除污水中的氮和磷。该研究主要针对分散型的生态型污水处理系统进行分析。

2 南方农村生活污水处理工艺技术经济评价

根据农村自然环境、经济环境与人口规模等条件, 选择农村污水处理工艺, 因地制宜, 采取集中收集处理与分散处理相结合的策略, 以投资少、简单实用、管理方便、效率高、运行成本低为污水处理工艺选取原则。

2.1 主要处理工艺

2.1.1 厌氧水解池-人工湿地。 该工艺由厌氧水解池和人工湿地 2 个处理单元串联组成, 具有较强的抗冲击负荷能力。生活污水通过多级厌氧池对污水中的有机污染物进行多级消化后进入人工湿地, 污染物在人工湿地内经过滤、吸附、植物吸收及生物降解等作用得以去除(图 1)。该工艺技术厌氧水解池水力停留时间(HRT)大于 6 h, 人工湿地水力负荷为 0.25~0.50 m³/(m²·d), 出水水质可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的一级 B 标准^[4]。

基金项目 科技部科研院所技术开发研究专项(2012EG111121); 环保部公益性行业科研专项(201109024); 广州市污染防治新技术、新工艺开发项目。

作者简介 林亲铁(1972-), 男, 湖南洞口人, 副教授, 博士, 主要从事水污染控制方面的研究, E-mail: qintlin@163.com。

收稿日期 2013-01-04

该工艺技术简单,无动力损耗,维护管理方便,适用于居住相对集中且有闲置荒地、废弃水塘的村庄,尤其适合于有地势差、有乡村旅游产业基础的村庄。广州增城市派潭镇榕树吓村 31 m³/d 生活污水处理工程、从化市太平镇神岗村 140 m³/d 生活污水处理工程、从化市小楼镇竹坑村 30 m³/d 生活污水处理工程均采用了该工艺。

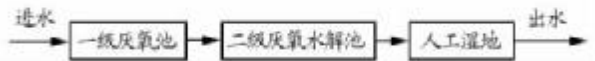


图1 厌氧水解池-人工湿地组合工艺流程图

2.1.2 厌氧水解池-生态沟。该工艺采用生物、生态组合技术,具体工艺如图2所示。该工艺技术厌氧水解池水力停留时间大于6 h,生态沟水力负荷为0.1~0.2 m³/(m²·d),出水水质可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的一级B标准。该工艺适用于拥有自然池塘或闲置沟渠且规模适中的村庄,处理规模不宜大于50 m³/d。生态沟的建设不应影响原状沟渠的排洪功能,且需远离居住区。广州南沙区横沥镇东方红村 50 m³/d 生活污水处理工程采用了该工艺。



图2 厌氧水解池-生态沟组合工艺流程图

2.1.3 厌氧水解池-稳定塘。该工艺流程如图3所示,该工艺技术厌氧水解池水力停留时间大于6 h,稳定塘水力负荷为0.1~0.2 m³/(m²·d),出水水质可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的一级B标准。该工艺适用于拥有自然池塘或闲置洼地的村庄,采用现状水塘作为稳定塘的设计,宜增设植物浮床设施,以提高生态塘的处理效率,使得水生植物易于管理,防止塘的富营养化。广州增城市中新镇坑贝村 120 m³/d 生活污水处理工程采用了该工艺。

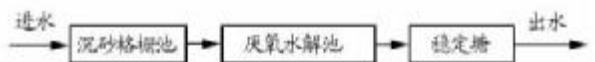


图3 厌氧水解池-稳定塘组合工艺流程图

2.1.4 生物接触氧化-沉淀池。生活污水直接进入生物接触氧化池,通过好氧生物膜上的好氧微生物作用,去除水中的污染物质,出水经沉淀后可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的一级B标准,该工艺流程如图4所示。该工艺适用于居住人口集中,用地紧张,且无水塘、洼地或沟渠可利用的农村,具有占地面积小、耐冲击负荷的优点,但与其他工艺相比具有运行和投资成本高的缺点。广州南沙区珠江街东区 720 m³/d 生活污水处理工程采用了该工艺。

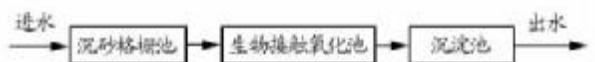


图4 生物接触氧化-沉淀池组合工艺流程图

2.1.5 四池净化系统(收集沉淀池+厌氧发酵池+沉淀池+人工湿地)。农村散户排放的生活污水经排污管道进入四

池净化处理设备,四池净化处理设备共分4格,生活污水首先经过初沉段沉淀大颗粒的无机物质,同时部分较轻的无机及有机物质上浮到水面,形成浮渣层,废水则通过位于初沉段中部的过水孔进入厌氧段,厌氧段采用厌氧生化处理技术,通过厌氧微生物的吸附、分解将污染物质降解为二氧化碳和水,之后废水通过下部的过水孔进入二沉段,经过厌氧处理的废水在二沉段完成泥水分离,沉淀的污泥通过下部相同的重新回到过水孔回流到厌氧段,上清液进入人工湿地处理段进一步去除有机物及氮、磷等营养物质。该工艺流程如图5所示。该工艺适用于无化粪池、粪便废水直接排放的农村,出水可达到《农田灌溉水质标准》(GB 5084-2005)。长沙市长沙县大部分生活污水处理工程采用了该工艺。

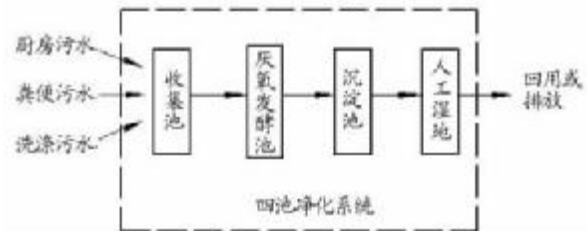


图5 四池净化系统工艺流程图

2.1.6 厌氧水解-滴滤-人工湿地。经厌氧处理后的生活污水进入滴滤池,滤池底部设有沉淀区,污水靠重力作用汇集到沉淀区,污水中的悬浮物沉淀下来,上清液进入人工湿地进一步降解,出水COD去除率为55%~95%,NH₃-N去除率高达90%以上^[5],具体工艺流程如图6所示。无锡市惠山区 20 m³/d 生活污水处理工程、宜兴市大浦镇 7 m³/d 生活污水处理工程都采用了该工艺。

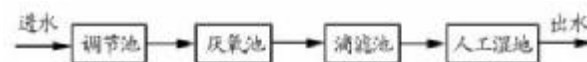


图6 厌氧-滴滤-人工湿地组合工艺流程图

2.2 处理效果的技术经济评价 根据对已建及在建的农村生活污水处理设施的调查,现今应用的分散式污水处理工程的设计规模为5~800 m³/d,其中大多数都在150 m³/d以内。由表1可知,在不考虑管网和动力设备的情况下,各种处理工艺投资远高于城市污水处理设施投资,其主要原因是:①农村污水水质水量变化大,设计的水力停留时间很长,因此池容较大,基建投资高;②工程处理规模较小,导致单位投资升高。可见,各种工艺技术均以厌氧处理为主,采用无动力或微动力处理设施。另外,各种处理工艺各有优劣,各地农村因生活水平及自然条件的差异,采取的主流技术也不一样,如广州市一期农村污水治理工程中有66%的工程选择了“厌氧+人工湿地”工艺技术^[6],长沙市长沙县的农村污水治理工程中有70%以上的工程选择了四池净化系统。即使在同一地区,因人口规模、地理条件不同,采用的工艺也不一样。如“厌氧水解池-人工湿地”工艺技术适用于有一定土地及经济条件,但管理水平不高、排放要求严格的农村地区;“厌氧水解池-生态沟”工艺技术适用于拥有自然池塘或闲置沟渠且规模适中的农村地区;“厌氧水解池-稳定塘”工

艺技术适用于拥有自然池塘或闲置洼地的农村地区;“生物接触氧化-沉淀池”工艺技术适用于居住人口集中、用地紧张且无水塘、洼地或沟渠可利用的农村地区;“四池净化系统”工艺技术适用于居住分散、水量少的农村地区;“厌氧-滴滤-人工湿地”工艺技术适用于禽畜废水相对较多的农村

地区。因此,农村污水的处理技术不能一概而论,不能简单地把某地适用的污水处理工艺技术照搬用于另一地区,应综合考虑农村的人口规模、所在的自然地理条件、区域经济条件等。

表1 6种典型农村生活污水处理工艺技术经济比较

| 工艺 | 设计参数 | 耐水量冲击负荷 | 去污效果 | 出水水质 | 运行管理 |
|------------|---|------------------|---------------------------------|----------|---|
| 厌氧水解池-人工湿地 | 厌氧水解池 HRT > 6 h, 人工湿地 HRT 24 ~ 36 h, 水力负荷 0.25 ~ 0.5 m ³ /(m ² ·d) | 抗水质、水量冲击负荷较强 | COD 去除率超过 80%, 但氨氮去除率较低 | 一级 B 标准 | 需安排 1 人不定期维护; 厌氧水解池每隔 1 ~ 2 年需清掏 1 次; 秋、冬季应及时清理人工湿地的树叶等杂物 |
| 厌氧水解池-生态沟 | 厌氧水解池 HRT > 6 h, 生态沟水力负荷 0.1 ~ 0.2 m ³ /(m ² ·d) | 有一定的抗水质、水量冲击负荷能力 | COD 去除率超过 70% | 一级 B 标准 | 需安排 1 人不定期维护; 厌氧水解池每隔 1 ~ 2 年需清掏 1 次; 秋、冬季应及时清理人工湿地的树叶等杂物 |
| 厌氧水解池-稳定塘 | 厌氧水解池 HRT > 6 h, 稳定塘水力负荷 0.1 ~ 0.2 m ³ /(m ² ·d) | 有一定的抗水质、水量冲击负荷能力 | COD 去除率超过 80%, 氨氮去除率高 | 一级 B 标准 | 需安排 1 人不定期维护; 厌氧水解池每年清掏 1 次, 稳定塘需定期清理塘底淤泥并晒塘 |
| 生物接触氧化-沉淀池 | 生物接触氧化 HRT > 6 h | 耐冲击负荷能力强 | COD 去除率达 90%, 氨氮去除率较高但除磷效果一般 | 一级 B 标准 | 需要妥善处理剩余污泥 |
| 四池净化系统 | 三池总 HRT > 48 h, 人工湿地水力负荷 0.2 ~ 0.3 m ³ /(m ² ·d) | 抗水质、水量冲击负荷较强 | COD 去除率超过 70%, 氨氮去除率较高, 但除磷效果较差 | 农田灌溉水质标准 | 管理方便 |
| 厌氧-滴滤-人工湿地 | 滴滤池容积负荷 0.15 ~ 0.25 kgBOD/(m ³ ·d), 人工湿地水力负荷 0.4 ~ 0.5 m ³ /(m ² ·d) | 有一定的抗水质、水量冲击负荷能力 | COD 去除率超过 70%, 氨氮、磷去除率高 | 一级 A 标准 | 滴滤池出水需回流 |

| 工艺 | 占地面积 | 建设成本//万元/t | 运行费用 | 适用对象 | 工艺综合评价 |
|------------|------|---------------|--------------|----------------------------------|--|
| 厌氧水解池-人工湿地 | 较大 | 1 500 ~ 2 500 | 无设备运行费 | 适用于有一定土地及经济条件, 但管理水平不高、排放要求严格的农村 | 运行费用较低; 操作管理方便; 处理效果较好, 投资较少, 但占地面积较大 |
| 厌氧水解池-生态沟 | 大 | 1 500 ~ 2 500 | 无设备运行费 | 适用于拥有自然池塘或闲置沟渠且规模适中的农村 | 运行费用低; 操作管理方便; 处理效果较好, 投资较少, 但占地面积较大 |
| 厌氧水解池-稳定塘 | 大 | 1 500 ~ 2 500 | 无设备运行费 | 适用于拥有自然池塘或闲置洼地的农村 | 运行费用低; 处理效果较好, 但投资较大、占地面积大, 需定期清理塘底淤泥, 同时需防止塘的富营养化 |
| 生物接触氧化-沉淀池 | 小 | 2 500 ~ 3 500 | 运行成本较高 | 适用于居住人口集中、用地紧张且无水塘、洼地或沟渠可利用的农村 | 占地面积小、耐冲击负荷强, 但运行和投资成本高, 运行调试周期长且需要单独处理剩余污泥 |
| 四池净化系统 | 小 | 3 500 ~ 4 000 | 运行成本低 | 适用于居住分散、水量少的农村地区 | 耐冲击负荷强, 运行成本低, 但投资成本高 |
| 厌氧-滴滤-人工湿地 | 较大 | 2 500 ~ 3 500 | 能耗较大, 运行成本较高 | 适用于禽畜废水相对较多的农村地区 | 占地面积较大, 耐冲击负荷强, 氨氮、磷处理效果好 |

3 结语

(1) 南方农村居住点较为分散, 以小型聚集点或单独几户零散居住为主, 难以建立完备的管网系统, 生活污水主要实行单独收集、分散处理。

(2) 农村情况复杂, 各个村庄经济、人口、地形条件差异较大, 农村污水处理工艺技术的选择不能一概而论, 不能简单地把某地适用的污水处理工艺技术照搬用于另一地区, 应以投资少、运行费低、管理方便为主, 并综合考虑农村的人口规模、所在的自然地理条件、区域经济条件等。

(3) 6 种工艺技术各有优劣, 也有各自的适用对象, 在经济

落后、人口较少地区应采用人工湿地、氧化塘等生态处理技术, 这些生态技术以厌氧处理为主, 采用无动力或微动力处理设施, 且应充分利用环境的容量来达到处理污水的目的。

参考文献

- [1] 夏训峰, 王明新, 闵慧, 席北斗. 基于模糊优劣系数法的农村生活污水处理技术优选评价方法[J]. 环境科学学报, 2012, 32(9): 2287 ~ 2293.
- [2] ZHAO J. Decentralized treatment technique in rural domestic sewage in China[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(8): 88 ~ 91, 101.
- [3] 王云龙, 张微晨, 陶琪, 等. 四种农村生活污水处理工艺比较[J]. 水处理技术, 2011, 37(7): 133 ~ 137.
- [4] 周炜峙, 王彩虹, 林伟国. 广州市农村生活污水处理技术浅析[J]. 中国给水排水, 2011, 27(18): 33 ~ 37. (下转第 2192 页)

是真正的低碳经济发展水平高,属于低碳而不经济型。

属于相对高碳区的 6 个区市也存在着差异。铜川和杨凌两市区的单位 GDP 能耗远大于其余三市,但铜川市的单位 GDP 能耗由 2005 年的 2.16 t(标准煤)/万元减小到 2009 年的 1.79 t(标准煤)/万元,年均递减 4.5%,降低能耗的效果较为明显。这主要是因为铜川市其作为支柱产业的煤炭产业经过几十年的发展,已趋于饱和,煤炭及其相关产业的衰退带来了碳排放强度的降低。作为我国唯一的农业高新技术产业示范区的杨陵区,2009 年重工业产值也只有 37.4%,单位 GDP 能耗维持在 0.6~0.7 t(标准煤)/万元,因此单位 GDP 的碳排放量也维持在 0.5 t/万元左右。延安市的单位 GDP 能耗降低率由 2006 年的 2.85% 增大至 2009 年的 4.18%,但碳排放量强度却维持在 0.52 t/万元左右,反映了石油、煤炭生产等高碳排放产业依然是拉动全市经济增长的主动权。宝鸡、咸阳两市年均 GDP 增长率逐年递增,碳排放强度也从 2006 年的 1.03 和 0.98 t/万元下降至 2009 年的 0.80 和 0.69 t/万元,两市第三产业的比重都由 30% 左右增加至 35% 左右,带来了两市低碳经济的快速发展,也侧面反映了节能减排工作已取得初步成效。位于陕南地区的汉中市年 GDP 增长率持续增加,单位 GDP 的能耗虽在降低,但却都在 1.5 t(标准煤)/万元以上,表明碳排放量也在逐年增加。

高碳区的渭南和榆林两市也有各自的特征。渭南市的碳排放强度均值达到 2.47 t/万元,单位 GDP 能耗均值高达 3.25 t(标准煤)/万元,远大于其他各市区。这是因为渭南市的支柱产业主要是装备制造、火力电力、有色冶金、医药和纺织业等能源消耗量大的工业,造成了该区碳排放量大,降低了低碳经济发展指数。榆林市自 2002 年以来依托市内丰富的煤炭、石油资源建成了陕北能源化工基地,经济以每年 20% 左右的增速高速增长,第二产业比重基本都处于 70% 以上,尤其是能源化工产业占规模以上工业总产值的比重达到了 94.0% (2009 年),高耗能产业的高速发展使得碳排放量由 2005 年的 5.9×10^6 t 快速增长至 2.2×10^7 t,碳排放量增长显著。

4 结论与建议

笔者通过对陕西省历年碳排放量和经济发展之间的关系对比分析,且通过 IPCC 温室气体排放清单方法计算陕西省 1995~2010 年能源碳排放,再对“十一五”期间陕西省 11 个地级市的经济数据进行分析,计算出近年来陕西省 11 个地级市低碳经济发展水平指数,并分析各自成因,

得出以下结论:

(1) 陕西省在 1995~2010 年间能源消费所带来的碳排放总量增长了 4 倍,碳排放量快速增长,由此说明当前陕西省的经济发展仍然依赖大量的能源消耗与生产资料投入,碳排放量也持续增加,陕西省的低碳经济建设亟需加大力度。

(2) 通过对“十一五”期间陕西省各地级市低碳经济发展水平及各市当前低碳经济发展状况的评估分析,发现各市之间的低碳经济发展水平存在着较大差异。近年来工业化大发展的高碳地区,能源消耗量大,碳排放量快速增长,未来应当积极调整产业结构,降低第二产业产值在年 GDP 中的比重,尤其是要降低重工业的能耗,同时大力发展第三产业,如文化产业、生态旅游、电子信息技术、商贸服务等。而相对高碳区各市和西安市产业结构比较复杂的情况,未来应当实现产业之间的相对集聚,这不仅能提高区域产业的竞争能力,而且也能够降低经济发展的碳排放量,提升低碳经济发展水平;作为低碳区的安康、商洛两市,其经济发展还相对落后,应当在大力发展社会经济的同时,兼顾低碳经济发展模式,促进低碳经济发展。

参考文献

- [1] 庄贵阳,潘家华,朱守先. 低碳经济的内涵及综合评价指标体系构建[J]. 经济学动态,2011(1):132-136.
- [2] 张坤民. 低碳世界中的中国:地位、挑战与战略[J]. 中国人口·资源与环境,2008(3):1-7.
- [3] FU M M, YAO J. Analysis on the influencing factors of low-carbon economy and its mitigation countermeasures in Sichuan Province[J]. Meteorological and Environmental Research, 2011, 2(11/12):49-52, 71.
- [4] LI L, JU Z C, LUO L, et al. Research on the low-carbon-high-value agriculture technology in the comprehensive improvement of intra-county environment pollution[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(7):64-67, 71.
- [5] 刘竹,耿涌,薛冰,等. 中国低碳试点省份经济增长与碳排放关系研究[J]. 资源科学,2011, 33(4):620-625.
- [6] 谭丹,黄贤金. 我国东、中、西部地区经济发展与碳排放的关联分析及比较[J]. 中国人口·资源与环境,2008(3):54-57.
- [7] 吴文洁,王小妮. 陕西碳排放与经济增长关系研究——基于“EKC”与“脱钩理论”[J]. 西南石油大学学报:社会科学版,2011, 13(6):69-76.
- [8] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [EB/OL]. [2012-12-17]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- [9] 李颖,黄贤金,甄峰. 江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析[J]. 农业工程学报,2008, 24(9):102-107.
- [10] 国家发展和改革委员会能源研究所. 中国可持续发展能源暨碳排放情景分析综合报告[EB/OL]. (2003-05) [2011-07-21]. <http://web.cenet.org.cn/upfile/77222.pdf>.
- [11] 唐笑飞,鲁春霞,安凯. 中国省域尺度低碳经济发展综合水平评价[J]. 资源科学,2011, 33(4):612-619.
- [12] 朱明. 数据挖掘[M]. 2 版. 合肥:中国科学技术大学出版社,2008.

(上接第 2188 页)

- [5] 白永刚,吴浩江. 滴滤池-人工湿地组合工艺处理农村生活污水[J]. 中国给水排水, 2007, 23(17):55-57.
- [6] 广州市污水治理工程管理办公室,广东省建筑设计研究院. 广州市农村生活污水治理适用技术指引(第一册)[M]. 广州:广州市水务局, 2010.

- [7] 陈浪,龚道新,罗杨. 人工湿地处理农村生活污水启动调试研究[J]. 湖南农业科学,2011(19):69-71.
- [8] WAN Y S, ZHANG P, LI D L, et al. Analysis on selection of domestic sewage treatment method in rural area[J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(4):597-599.