

以生态自然净化处理农村污水之探讨

陈意昌¹, 孙明德², 刘昌文²

(1. 逢甲大学水利工程系, 台中 407; 2. 台湾中兴大学水土保持学系, 台中 402)

摘要: 依据“污水下水道建设方案”计划, 预计至 2011 年为止, 台湾地区之下水道普及率预估可达 36%。台湾家庭产生的生活污水, 一般透过污水下水道的施設加以解决, 然而此项建设以都会区优先实施, 且废污水之处理以传统污水处理厂为主, 该方式所需之费用相当庞大, 非一般农村地区所能负担。若配合实施农村社区土地重划后, 提供公共设施用地, 结合下水道系统, 将家庭产生之废污水, 以自然生态净化系统之生物处理, 建构符合生态性及永续发展的农村。因此, 将以农村社区土地重划先期规划地区及已完成人工湿地之社区为例, 探讨农村社区污水设施规划之演进, 及以自然净化处理农村社区废污水实施之可行性, 提供未来执行之参考。

关键词: 自然净化; 农村社区; 污水; 生态

中图分类号: X52

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)05-0016-07

Using Ecological and Natural Methods to Clarify Rural Sewage in Taiwan

CHEN Yi-chang¹, SUN Ming-de², LIU Chang-wen²

(1. Department of Water Resources Engineering, Fengjia University, Taizhong 407, Taiwan;

2. Department of Soil and Water Conservation, Zhongxing University, Taizhong, Taiwan 402, China)

Abstract: In accordance with the government's 'Sewage sanitary sewer construct program' plan, the universal rate of sanitary sewer will be estimated to reach 36% until 2011 in Taiwan. Generally, Taiwan's families produced the livelihood sewage through sewage sanitary sewer system to settle. However, this construction was centralized on city area, and the sewage was dealt with by sewage farm mainly. Because of sewage farm spent much money so the local governments couldn't bear. After rural community land readjustment that could provide public facilities land, use natural and ecological methods to purify household's sewage that will establish sustainable development rural. Some earlier scheme areas of rural community land readjustment are taken for example to explore the evolvement of sewage facilities, feasibility of natural treatment that provides consultation in the future.

Key words: natural clarification; rural community; sewage; ecological restoration

1 前言

依据“污水下水道建设方案”计划, 至 2003 年底为止, 台湾地区污水下水道规划完成面积为 191 350 hm², 公共污水下水道及专用污水下水道之接管户数分别为 609 030 户及 512 043 户, 普及率分别为 10.8% 及 9.1%; 污水处理厂建设完成 22 座, 抽水站 74 座。然而建设大部分以都会区优先实施, 台北市及高雄市之普及率分别 63.3% 及 30.2%; 而农业县如宜兰、苗栗、彰化、云林、台南、屏东、花莲、台东、澎湖等则仍为 0。至 2011 年为止, 台湾地区之下水道普及率预估达 36% (‘营建署’, 2005)。

家庭产生的生活污水, 一般透过污水下水道的建设加以解决, 污水之处理亦以传统污水处理厂为主。虽污水处理厂所处理之污水量及出水水质稳定, 可达放流水之标准, 放流水水资源亦可再利用, 但建设所需之厂房、机械设备, 及后续每年维护、污泥处置及专责人员等费用相当庞大。在一般非都市土地之乡村区, 若属集村式农村, 其建造污水下水道系统所需成本应较散村式农村低, 惟台湾在大部分农地重划区

已建立完整之农路及排水系统, 每一丘块均可临路的情况, 土地所有权人均可于农地面积之 1/10 土地建农舍, 因此部分丘块临路兴建有农舍; 以景观生态学而言, 农田基质中, 散布着零星的农舍建物嵌块体, 使整个农田景观产生破碎化的情况。若欲于分散农舍间建构污水下水道系统, 其所需费用非一般农村地区及地方政府所能负担。因此, 农村社区以土地重划方式作整体规划, 原乡村区因区域整体发展或增加公共设施之需要, 可适度扩大其范围, 利用非建地提供公共设施用地, 除将农村社区农舍住宅集村化, 污水处理设施亦配透过取得的公共设施予以利用, 应为可行之道。

近几年来, 对于自然环境破坏, 使地球气候异常, 台湾地区亦因大地的反扑, 而造成多次严重的天然灾害, 主要原因为对于国土、山坡地、河川等不当的开发利用, 且无适当的保育措施所致; 且各项工程设施在以安全为考量情况下, 人工材料有其稳定的性质, 钢筋混凝土为一般工程常用材料, 但与一般自然环境协调性不佳, 亦非属生物良好之栖息处所。鉴此, 近年已大力提倡之生态工法, 于水土保持、水利、土木、环保等相关施工地区, 均可发现此种近自然工法的应用, 在

¹ 收稿日期: 2005-07-08

作者简介: 陈意昌, 逢甲大学水利工程系 兼任助理教授, 博士; 孙明德, 刘昌文, 台湾中兴大学水土保持学系 博士生。

环境工程之污水处理上, 亦提出有关自然净化污水处理的方式, “人工湿地”为其中一种处理方式。因建置污水处理厂之建置费用高、维护成本高、程序复杂、进度缓慢, 若台湾地区乡村区 4 000 余个均要建置的情况下, 可能庞大经费及需时数十年。因此于办理农村社区土地重划时, 在用地及土地产权均已配合解决, 所规划的污水处理设施采用较符合自然保育的人工湿地, 对于自然环境、水资源利用、永续经营管理均能产生较佳的成果, 故以本文先做初步之探讨。

2 相关研究

利用自然净化污水处理系以环境本身自净能力, 当污水进入自然环境介质后, 其污染物会经由物理作用、生物化学分解反应及自然的移转等方式使污染物分解或移除。湿地为自然处理污水系统之一, 所谓“湿地”, 依据 1971 年国际拉姆萨(Ramsar)公约, 广泛的定义为“不论天然或人为、永久或暂时、静止或流动、淡水或咸水, 由沼泽、泥沼、泥煤地或水域所构成之地区, 包括低潮时水深 6 m 以内之海域。”而“人工湿地”是应用生态工程技术, 以处理废(污)水或弥补自然损失的人为设施, 具有将污染物涵容同化(assimilation)及转换的能力, 也兼具自然湿地生态系统中物理、化学和生物间交互作用处理之特性, 既不需能源输入, 也具有不必经常维护管理与自给自足等优点(林莹峰, 1999)。目前人工湿地依其功能可分为以下 6 种: (1)水质处理型人工湿地(Constructed Wetlands); (2)生态补偿型人工湿地(Mitigation Wetlands); (3)暴雨洪水调节型人工湿地; 以及(4)景观造景型人工湿地; (5)养殖型人工湿地; (6)综合型人工湿地(Kadlec and Knight, 1996; 邱文彦, 2004)。

台湾人工湿地之研究已十余年, 利用各种自然的处理机制将许多废水中污染物质转化为无害产物, 已是一被广应用与接受的成熟技术, 亦被视为以太阳为能源之生态工法。利用人工湿地系统净化, 对于改善受污染河川及校园污水水质之试验研究(陈柏州, 2004), 经实验结果, 以表面下流动式人工湿地系统成效较佳; 许文明(2002)利用小型及现地大型人工湿地系统净化养猪废水, 在不同的水力停留时间, 探讨数种水生植物在养猪废水高污染负荷下, 布袋莲、水芙蓉、浮萍等水生植物对畜牧废水的处理成效。国内逐渐对湿地的净化功能愈加重视, 但大多数用于处理一般的生活污(废)水, 在世界各国已有利用人工湿地处理各种废污水的案例, 包括各种类的工业废水在内, 工业废水中以石化及炼油废水在人工湿地处理成效尤佳。杨磊(2001)以台湾六轻麦寮厂为例, 探讨人工湿地应用于海岸及离岛型工业区废水污染防治之可行性作评估。陈盈利(2004)针对传统人工湿地应用上的限制, 设计曝气水平流式生物滤床及地下水流式人工湿地等二段式处理方式现场试验模场(Pilot scale), 处理浓度较高之截流生活污水。处理后之总去除率, BOD、SS、VSS、TCOD、NH₃-N 等项均可达 73% 以上; 二段式人工湿地建设成本仅约一般污水处理厂之 1/6, 年操作成本亦仅约 1/3, 因此二段式人工湿地系统具有低初设费、低操作维护费, 以及容易操作、维护简单之优点。

早在 20 世纪初, 人类即已利用湿地承接污水, 以植生解决环境污染问题, 尔后并发展各项水质净化技术, 包括土壤、砾间净化等方法处理废污水, 兹就相关工法及设施工程, 说明如表 1。

表 1 水质净化近自然处理之工法

工法	设施工程
植生处理法	1. 湿地; 2. 浮岛; 3. 浮游植生; 4. 草沟; 5. 草带; 6. 植栽滤床
土壤处理法	A. 1. 快渗; 2. 慢渗; 3. 地表漫流
A. 灌溉处理	B. 1. 单体式; 2. 多重式
B. 地下渗滤	
接触氧化法	1. 砾间接触 2. 填充滤材; 3. 渊与渊

资料来源: 台湾“环境保护”署, 2004

除前开水质净化工程之外, 部分护坡之生态工法亦具污染减量之效益, 除减缓径流量, 增加地下水源补助外, 并利用重力沉降或植物摄取等方式, 减少泥沙、营养盐、有机质等进入河川, 以增加河川溶氧, 改善水质, 并可增加河川生物廊道与外围生态系之连结, 促进生物多样性(“环境保护署”, 2004)。

李汉铿(2005)则以不同砾石粒间接触法对小型河川水质之改善进行试验研究, 砾石粒径愈大, 水流速度较快, 对于有机物之去除效果较佳。人工湿地与氧化塘均为将生态工程技术应用于水或废水管理或处理上的一种自然净化技术(Kadlec and Knight, 1996)。李黄允(2001)以二阶段人工湿地去除生活污水中之营养盐, 利用生活污水厂之二级放流水做为进流, 藉由控制营养盐进流浓度及水力停留时间等参数, 分析水质变化及植体、介质中氮磷含量, 探讨系统对于点源或非点源的氮、磷之去除效率及对水质的改善效果。荆树人(2005)以台南县仁德乡之二行社区作为自然净水及再利用之示范园区, 人工湿地净水系统由水生植物塘与人工湿地所组成, 面积约 0.1 hm², 设计之处理水量为 100 m³/d, 实际平均处理量约为 37 m³/d, 经三年运转结果, 净水系统的处理水可经常符合社区下水道系统之放流水标准。陈意昌等(2005)认为自然净化系统之生态池、人工湿地代替污水处理厂施设于台湾乡村中并不多见, 主要因素为目前尚在试验阶段, 缺少较有利及较多之信息可参考实施; 台湾学者亦从事此方面之研究, 可为日后农村社区办理重划时, 污水处理之参考; 亦可与公园、绿地结合或保留水塘、水圳与生态池结合, 维护其生态环境。

有关社区下水道之放流水标准详如表 2, 50 m³ 以上流量之主要检验项目有生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD)、悬浮固体(SS)、大肠杆菌群等四种, 低于 50 m³ 流量则减少大肠杆菌群项目。公共下水道之放流水标准除增加总磷最大限值为 2.0 mg/L, 总氮最大限值为 15 mg/L 之限制外, 其余均与社区下水道相同。

表 2 台湾社区下水道之放流水标准

适用范围	项目	最大限值
流量大于 250 m ³ /d	生化需氧量/(mg · L ⁻¹)	30
	化学需氧量/(mg · L ⁻¹)	100
	悬浮固体/(mg · L ⁻¹)	30
	大肠杆菌群/(菌落数 · 100 mL ⁻¹)	200000
流量介于 50~250 m ³ /d	生化需氧量/(mg · L ⁻¹)	50
	化学需氧量/(mg · L ⁻¹)	150
	悬浮固体/(mg · L ⁻¹)	50
	大肠杆菌群/(菌落数 · 100 mL ⁻¹)	300000
流量小于 50 m ³ /d	生化需氧量/(mg · L ⁻¹)	80
	化学需氧量/(mg · L ⁻¹)	250
	浮固体/(mg · L ⁻¹)	80

资料来源: 台湾“环境保护署”, 2004。

3 农村社区土地重划污水规划探讨

前台湾省政府为改善台湾地区农渔村之生活环境、兴修公共设施、解决农村复杂地籍,自 1987 年起以土地重划方式办理农渔村社区更新,至 2000 年止,期间共建设 27 区,累计面积 242. 67 hm²;2000 年 1 月公布实施之“农村社区土地重划条例”,使办理农村建设有法源依据。并编列“四年(2001 年至 2004 年)示范计划”,主要办理地区为“9·21”集集地震灾区重建,均集中在南投县境内,计完成建设有草屯镇过坑社区等 9 区、花莲县富里乡罗山社区、新竹市香山区浸水社区,于 2004 年办理发包,计办理 11 区,面积 46. 35 hm²。另由统计知,2001 年至 2004 年四年规划区数为 30 区,总面积近 199hm²,即建设约占规划区数之 37%,面积约占 23. 3%,比例并不高,若扣除南投县境“9·21”震灾后重建地区,则建设比例降至不及 10%,可见该计划实施之困难程度(陈意昌等,2005)。

3.1 实施困难探讨

综合执行比率较低,检讨以往实施困难与问题所在,主要原因有负担问题,“农村社区土地重划条例”第 11 条规定:“工程费,由政府与土地所有权人分担。”土地所有权人除负担工程费外,最大负担为分担重划区内公共设施所需用地,依“条例”第 11 条规定重划区折价抵付共同负担之土地,其合计面积以不超过各该重划区总面积 35% 为原则,而重划前经编为建筑用地以外之土地应提供至少 40% 土地,负担相当沉重(土地重划工程局,2004)。

农村社区土地重划系原乡村区适度扩大非建地的范围,在农村之非建地以农地居多,原为农地之土地所有权人要负担大部分之公共设施用地,在“有土斯有财”之传统观念下,要说服农民即会产生相当大的阻碍,虽农地已变为“建”,但在偏远之乡村地区,在短期间,土地价值提升可能不会明显,且重划后之地价仍是未知数,因此重划之先期规划常会遭遇非建地居民的反对;而原有乡村区或是地目为建地的土地所有权人普遍认为,其土地本来即为建地,土地重划对其较无吸引之诱因,虽可增加公共设施面积,改善道路、绿美化、公园、活动中心及排水,然一般人习惯安于现状,因此地目为建之土地所有权人采不赞成亦不反对意见。另在与社区居民沟通中,土地所有权人比较在意的尚有地价税的缴交,原登记为农地目之土地,毋需缴交地价税,重划后因已为建地地目,每年需缴交地价税,对于不利用上涨地价转手买卖取得利润的农民来说,仍以耕作方式为主,则收成相对减少,且尚需负担地价税,造成当地农地居民持反对立场之理由。

3.2 先期规划污水处理设施演进

“环境影响评估法”第 5 条中对于因开发行为致环境有不良影响之虞者,应实施影响评估;农村社区土地重划另依据“开发行为应实施环境影响评估细目及范围认定标准”,位于“国家公园”、野生动物保护区或野生动物重要栖息环境、位于自来水水源水质水量保护区等均需办理,如屏东县恒春镇山海社区位于“垦丁国家公园”区内,日后需邀请“垦丁国家公园”管理处会同审查;同法第 25 条,认定为新市区建设,另位于非都市土地,申请开发面积 10 hm² 以上或扩建面积累积 5 hm² 以上者,亦需实施环评。第 27 条旧市区更新(含拆除重建、整旧复新及维护保存)中,申请更新面积 20 hm² 以上者,亦需实施环评;前述有关南投县灾区重建之社区即依第 27 条办理,惟因未属该条文规定事项,故免实施环境影

响评估。农村社区土地重划 4 年(2001~2004 年)示范计划已于 2004 年底执行完毕,经汇整台湾土地重划工程局历年所完成之先期规划报告书内容,其中先期规划地区预测开发对环境影响有关雨污水处理相关设施整理如下:

2001 年度先期规划地区计办理 7 区(详表 3),当时对于污水处理厂之规划设置仅有三区,面积均在 1 000 m² 左右,雨水下水道(或排水工程)与污水下水道工程采分流规划;部分社区如苗栗西湖乡埔顶社区因人口数较少,且该乡之都市计划区内并无污水下水道规划,而未予规划;台中县大安乡西安社区亦相同,另家庭污水量之概估则以“水利署”公告之自来水用量估算结果。

罗山社区于 2002 年 5 月起办理社区内地质钻探工作及各类技师签证。开发计划书经“花莲县非都市土地使用分区及使用地变更审议小组”于 2002 年 9 月审议通过,于 2003 年 1 月开工,同年 12 年完工。该社区依据“开发行为应实施环境影响评估细目及范围认定标准”第 25 条第一项第六款:“位于非都市土地,申请开发面积 10 hm² 以上或扩建面积累积 5 hm² 以上者。”均未达到标准而未办理环境影响评估。有关雨水、污水下水道工程采分流规划、设计、施工,雨水下水道工程长度 546 m,污水下水道工程施工长度为 2 091 m。惟该社区并未留设污水处理设施用地,于 2005 年底前于区外取得一约 4 000 m² 土地,规划以人工湿地方式处理本社区之家庭污水。(文中工程费用系新台币,下文同)

表 3 2001 年度农村社区土地重划先期规划地区污水设施表

县市别	社区	面积/ hm ²	现有 人口数	排水工程		污水处理厂	备 注
				费用/ 元	污水下水道 费用	面积/ m ²	
新竹市	茄 荖	5. 1239	169	10086000			依下水道法施行细则第 4 条,少于 45 户不设置污水处理厂
香山区			176	13340800			
苗栗县	埔顶	3. 2556	167	7909000			
西湖乡			172	0			该乡都市计划区内无污水下水道规划,本社区不规划设置亦无预留污水处理厂
台中县	西安	7. 8786	348	21929500			
大安乡			680	0			
云林县	溪底	13. 7153	976	6918440		1 023	采雨、污水分流处理
元长乡			1583	14192250			采雨、污水分流处理 预估每日家庭污水量 264 L
云林县	下寮	14. 5409	1225	5365540		900	
口湖乡			1609	17429790			
嘉义县	松脚	4. 3878	206	6829300			未规划设置污水处理设施 预估每日家庭污水量 204 L
竹崎乡			274	0			
花莲县	罗山	9. 6162	574	14111590		1000	
富里乡			722	8238000			小计
			3665	73149370		2923	
			5216	53200840			

资料来源:本研究整理。

2002 年度先期规划地区计办理 5 区(详表 4),除新竹市香山区浸水社区设置污水管,将与邻近之污水下水道系统连接外,其余各区均规划设置污水处理厂,面积由苗栗县三义乡双潭社区 200 m² 之简易污水处理。屏东县里港乡北安社区于 1991 年规划,社区内采雨水、污水下水道分流处理规划,污水处理厂位于社区西南边界最低处,面积 961 m²。最近环境影响说明书审查时,部分委员提及有关污水处理厂费用及后续维护工作需提出有否能力实施,亦建议采人工湿地方式。里港乡公所便召开社区更新协进会,提议将附近之公

有水利地 155 m² 及滞洪设施可搭配运用, 或向位于区外西南方之台湾糖业公司或社区外南方之台湾电力公司购地, 采人工湿地方式处理污水, 截至目前污水处理方式则尚未定案, 而仍依原污水处理厂之规划方式处理, 至该社区开发之环境影响说明书至 2005 年 4 月审查有条件通过。

表 4 2002 年度农村社区土地重划先期规划地区污水设施表

县市别 乡镇别	社区 名称	面积/ hm ²	现有人口数 预估 15 年后	排水工程	污水处理厂	备 注
				费用/ 元 污水下水道 费用	面积/m ²	
桃园县	华隆	10.3071	615	21580000	613	采雨、污水分流处理
平镇市			662	30649600		
新竹市	浸水	4.2318	485	11743000		公共设施比 29.86%, 仅埋
香山區			522	13023900		设污水管
苗栗县	双潭	4.1918	201	10081900	200	采雨、污水分流处理规划简
三义乡			442	2927000		易污水处理
台中县	和平	9.9226	585	29408600	700	采雨、污水分流处理
和平乡			1286	10692800		
屏东县	北安	9.9895	334	8397900		采雨、污水分流处理尚有水
里港乡			912	6500000	961	利地 155 m ²
小计	5 区	38.6428	2220	81213400	2474	
			3824	62795300		

资料来源: 本研究整理。

2003 年度先期规划地区计办理 4 区(详表 5), 其中台中县雾峰乡北势社区因面积仅 1.584 hm², 现有人口数及推估未来 15 年之人口数约在 40 人左右, 因此依下“水道法施行细则”第 4 条污水下水道之设置规定略以: “新开发社区: 可容纳 500 人以上居住或总计兴建 100 住户以上之社区, 其申请开发时经主管机关认定其开发完成时公共下水道尚无法容纳其废污水者。”而不予规划。

新竹市北区南势农村社区原规划一面积 2 208 m² 之多功能广场结合污水处理之设置, 其所规划家庭污水量为每天 250 L, 现有人口数 869 人, 本计划预计增加人口数 538 人, 未来所增加污水量为 135 m³/d(CM D), 营运期间之总污水量 352 m³/d。本社区于办理环境影响说明书时, 有关污水处理方案, 该社区未来依“客雅溪污水主干管 F 标计划”, 该计划区域之新竹市污水下水道管线规划于 2008 年设置完成, 客雅污水处理厂亦将于同年开始营运操作, 届时将本社区污水收集至客雅污水处理厂处理(土地重划工程局, 2005)。该环境影响说明书于 2005 年 3 月审查通过。

表 5 2003 年度农村社区土地重划先期规划地区污水设施表

县市别 乡镇别	社区 名称	面积/ hm ²	现有人口数 预估 15 年后	雨水工程	污水处理厂	备 注
				费用/ 元 污水下水道 费用	面积/m ²	
新竹市	南势	7.4008	869	26677200		结合多功能广场设置, 规划
北区			1407	25933000	2208	家庭污 水量 230 L/(d · 人- 1)
台中县	北势	1.5840	18	4936500		同茄 区, 未规划设置
雾峰乡			40	0		
台中县	松鹤	9.789	766	28450500	1032	采雨、污水分流处理
和平乡			1683	11513040		
彰化县	福宝	8.501	401	18657600	600	采雨、污水分流处理预估每
福兴乡			432	5785300		日家庭污水量 264 L/人
小计	4 区	27.2748	2054	78721800	3840	
			3091	43231340		

资料来源: 本研究整理。

2004 年度先期规划地区计办理 6 区(详表 6), 因生态工法等观念与技术大致成熟, 而以采用自然净化处理之人工湿地, 经多位学者之研究试验结果, 成效亦佳, 并在主办机关与规划单位主动规划下, 该 6 区农村社区先期规划均采人工湿地, 并将雨水、污水下水道工程均采分流规划, 亦得到当地居民及协进委员会的支持; 所需之面积概估由 1 000 m² 至 4 047 m² 不等, 应视每日处理之污水量及相关工法而定。以新竹县新丰乡埔和社区及横山乡内湾社区为例, 该二社区 15 年后推估之人数均近 1 000 人, 但人工湿地面积则分别在 4 000 m² 及 2 500 m², 所概估之工程费亦分别在 300 万元及 500 万元之差异。若以机械式及人工湿地比较, 以云林县水林乡土厝北社区概估经费, 分别为 1 200 万元及 300 万元。农村社区土地重划自办理示范计划起, 需依序完成先期规划、非都市土地开发审议作业(含环境影响评估、开发计划书图编制及审定)、建设工程施工、地籍整理及土地分配等各项作业。上开六区除台中县北汕社区因居民意愿不足, 未再继续办理后续阶段工作, 其余五区于 2005 年着手办理环境影响说明书之编制及审定工作, 未来对于审查环境影响说明书时, 对于农村社区土地重划地区之污水处理, 以自然生态方式规划, 是否能获得审查委员之认同, 并于社区实际执行, 将视往后之进展。

表 6 2004 年度农村社区土地重划先期规划地区污水设施表

县市别	社区	面积 /	现有人口数	雨水工程费用/ 元	污水处理厂	备 注
乡镇别	名称	hm ²	估 15 年后	污水下 水道费用	面积/ m ²	
新竹县	埔和	9.6604	358	25145500	4047	雨、污 水分流处理
新丰乡			978	24403400		以人工 湿地 规划, 估计 工程 费 300 万元
新竹县	内湾	9.7856	172	8664000	2548	雨、污 水分流处理
横山乡			976	15608000		以人工 湿地 规划, 含景 观绿 化估计 工程费 500 万元
新竹市	港南	9.4376	551	8001000	3925	雨、污 水分流处理
香山区			939	20534000		以人工 湿地 规划, 估计 工程 费 300 万元
云林县	土厝北	9.6014	248	27319500	1000	机械式估 工程费为 1200 万
水林乡			545	10908540		元, 人工 湿地工程 费估 300 万元。采 雨、污 水分流处理
台中县	北汕	9.403	600	22217400	1397	雨、污 水分流处理
大安乡			784	10363440		以人工 湿地 规划, 含景 观绿 化估计 工程费 400 万元
屏东县	山海	10.2641	430	9282700	920	污水处理 设置二处一 为人工 湿地, 估工程 200 万元, 一为
恒春镇			565	12057000		机械式估 1200 万元
小计	6 区	58.1521	2359	100630100	14531	
			4787	93874380		

资料来源: 本研究整理。

4 案例及可行性探讨

4.1 案例探讨

因农村社区土地重划地区于 2004 年规划人工湿地方式处理社区污水, 故无实地可供探讨, 兹以嘉南药理科技大学人工湿地研究团队设计, 目前正在运作之二区人工湿地作为案例, 以提供未来农村社区执行之参考。

4.1.1 嘉义县大林镇慈济医院污水处理

大林慈济医院与嘉南药理科技大学合作完成人工湿地,为使水资源有效回收利用,规划污水处理后可达到“灌溉用水标准”,因此将院内污水处理厂之放流水,经污水处理厂处理之污水本可达放流水标准,为能进一步达到灌溉水标准,再透过本人工湿地以生态净化的方式,将二级处理水进一步净化。即以污水厂二级放流水为处理污水来源(如图 1),以表面流动式(free water surface flow system, FWS)– 450 m²(如图 2)、表面下流动式(subsurface flow system, SSF)湿地

– 400 m²(如图 3)及生态景观池– 300 m²(如图 4)串联组成,湿地园区总面积为 1 500 m²。FWS 可贡献植物碳源进行脱硝作用,SSF 湿地之石头介质表面可提供脱硝菌生长并净化水质;本湿地自 2003 年 8 月开始操作,目前处理流量为 70 CMD。系统中设置生态池接收过滤后的三级处理水,池内放置浮水性水生植物,持续吸收水中的营养盐以净化水质,还可作为生物指针,并放养大肚鱼和盖斑斗鱼来抑制病媒蚊、藻类滋生及具有观赏效果,主要种植水生植物有香蒲、芦苇、培地茅、荸荠、睡莲、水芙蓉等(嘉南药理科技大学,2004)。



图 1 污水处理厂



图 2 表面流动式处理系统



图 3 表面下流动式处理系统



图 4 生态池

4.1.2 台南市湾里社区污水处理

整个湾里人工湿地范围占地 5.7 hm²,实验园区则约 0.5 hm²,包含表面流动式人工湿地、表面下流动式人工湿地、生态池及周边生态参访园区。估计每日截流湾里地区约 600 t 的生活污水,排入湾里大排(如图 5),再经由抽水机导入湿地,先经初过滤槽后,透过两座表面流动式(FWS)湿地(如图 6)、五座表面下流动式(SSF)湿地(如图 7),再流入过滤槽,经植物与石块等自然净化、过滤,削减生物需氧量,净水效果佳。湾里人工湿地的营造施作,是引进邻接之二仁溪流域之湾里大排水源,设置进水集水井与生态池(如图 8)、出水集水井等净化水质再利用设施,以自然方式净化生活污水的水质、进行河川复育及改善河川环境,并提供野生动、植物多样性栖息生长环境,提高人工湿地的实用价值,对于当地居民提供兼具教育及休闲活动之场所(环境信息中心,

2004;台南市政府、嘉南药理科技大学,2004)。

大林慈济医院污水处理厂处理后,虽已达二级标准,但为使水质更佳,并使人工湿地兼具生态及教育的功能,于污水处理厂后方尚有一处荒地可供利用,故而建置此人工湿地。考量土方平衡原则,所挖取土方之人工湿地及生态池,均回填作生态教育园区之步道用,因此建造后较附近之农田为高,多余之放流水可排至附近沟渠,实地勘查,可能较多时日未予整理,而遍地植物横生。因此后续之维护管理,对于人工湿地相当重要;另一缺憾为仍无法处理医疗用废污水。

台南市湾里社区最初以面积 0.5 hm²之实验园区,作为人工湿地处理附近市场之污水,于 2003 年完成;初步以原生种之陆生及水生植物各 15 种,营造当地生态系统,经试验并实地运作结果良好。因此社区发展协会透过台南市环境保护局向“中央”争取 3 000 千万经费,于 2004 年 12 月完成一面

积 5.7 hm^2 之示范型自然湿地生态教育园区, 因当地为晒盐场及制盐用地, 相对于一般用地而言, 当地地质所含盐分过高, 惟设计部分植栽从外县市移植而来, 采用非当地种及防

风、耐盐植物, 因此实地查访园区, 植物生长不良, 虽经补植三次仍不见起色, 也许当地居民应顺应当地自然环境之植物社会, 而非一再迷信外来植物。



图 5 湾里大排污水来源



图 6 湾里湿地表面流动式处理系统



图 7 湾里表面下流动式处理系统



图 8 湾里湿地生态池

4.2 可行性探讨

农村社区污水处理厂用地以 700 m^2 , 机械式建造费用以 1 200 万元估算, 人工湿地面积以 $2\,000 \text{ m}^2$, 建造费用以 300 万元估算, 农村社区土地重划后价格每平方米 9 000 元估列, 则二者于建设完成后之成本相近。但在后续维护成本上, 污水处理厂之专责人员之人事成本、药品、污泥之后续处理、机器之维修等, 每年费用保守估计至少需新台币 100 万元; 人工湿地系统在实际执行阶段之费用低, 若仅以电费计, 通常用于抽水并以提高进水水位, 每天每 t 的水电费低于 0.05 元, 若人工湿地位于污水集中最低处, 水位不需提升则可省去此项电费支出(荆树人, 2005); 除此之外, 尚需要技术工进行简单的操作和维护管理, 与污水处理厂之传统废水处理技术方式所需之维护管理等庞大费用相较, 人工湿地应为可行的方式。

但以人工湿地处理污水尚有缺点需予以克服: (1) 需要较大面积之土地, (2) 污水处理速度较缓慢, (3) 处理效率受环境气候、植物生命周期之影响, (4) 高浓度废水无法有效处理, (5) 孳生蚊虫, (6) 进水口及操作不佳可能产生臭味。另由于湿地系统中处理污水的主要工具为生物体, 包括: 水生植物及微生物, 而其功能受环境情况的影响较为明显, 故人工生态湿地中水生植物的种类、生长状况等因素, 皆会直接影响生态湿地对于污水处理的成效。人工生态湿地可选择性培养出能承受高污染性质、同时生长快速之水生植物, 形

成优势物种。嘉南药理科技大学研究团队(林莹峰等, 2004; 荆树人, 2005)针对维护工作、病媒蚊、病菌等缺点提供作法: 如水生植物生长可能影响水力流动, 需订出季节性植物的收割计划; 放养食蚊鱼(mosquitos fish) 如大肚鱼、三星斗鱼、盖斑斗鱼掠食蚊子、抑制蚊子幼虫(孑孓) 的发生; 采取流水循环回流, 以维持湿地前段好氧环境, 以有效防治病媒蚊; 利用沉降、过滤、吸附、氧化、自然死亡、被补食分解等物理性、化学性及生物性方法有效去除致病菌。

以人工湿地代替传统污水处理所需之用地较大, 虽可能使土地所有权人的用地负担比例增加, 而影响办理重划之意愿。解决方式: 除了多与当地居民协调沟通外, 规划单位亦可将区内规划设置之滞洪池、广场、公园绿地结合, 公共设施维持在法定 25% ~ 30% 之间, 即不增加土地所有权人之公共设施负担下, 污水处理设施之工程费及后续之维护费亦可降低甚多, 并可营造较接近自然之生态环境, 应较符合农村居民的期待。

人工湿地尽管台湾已有许多学者投入研究, 但由于相关部门对法规的解释与限制无法将之视为处理单元, 加上人工湿地土地密集的特性, 使得其应用难以推行。以农村社区土地重划而言, 至目前为止, 以该性质之环境影响说明书送件审查通过案例中, 均为以传统污水处理厂规划设置或规划污水下水道排放, 最后连接于社区外附近之污水下水道系统, 排入污水处理厂集中处理。而以人工湿地规划的农村社区土

地重划地区尚未有完成环境影响说明书及送审之案例，嗣后审查委员会对于人工湿地所处理污水后之水质及出水稳定性之疑虑，是否同意以此方式作为污水处理措施，则有待进一步法制建立，实际地了解及评估。

5 结 语

国外对于人工湿地之研究及实际应用，已相当普遍，对于废(污)水之处理、调洪、暴雨径流的处理，以及景观生态环境的再造，均得良好成果。人工湿地本身俱有(1)建造费用及操作维护成本低。(2)节省能源，不需机械设备。(3)可处理低浓度有机物废水。(4)处理后之水可回收再利用。(5)不需连续操作。(6)无二次污染问题等优点；而在土地生态方面亦可提高环境污染净化能力、提升河川之污染自净能力、提供野生生物栖息地、与周遭环境和谐契合并能改善景观、提供较丰富、营造多元之生态环境，回复生态系之自律性的生物多样性等功能(林莹峰、荆树人，2004)。经过人工湿地系统处理后的出水水质，通常可以达到一般放流水水质标准，适用于农作物和一般植栽之灌溉用水水源，处理后的水亦可以直接参考文献：

[1] Kadlec, R H, R L Knight. Treatment Wetland[M]. Boca Raton, F L KCRC Press, 1996.

[2] 丘文彦. 人工湿地应用规划与法治课题[J]. 台湾湿地, 2001, 90 年 4 月份第 23 期: (<http://www.wetland.org.tw/about/hope/hope23/hope23.htm>)

[3] 丘文彦. 人工湿地及其景观生态之应用[A]. 2004 生态工法案例编选集[M]. 公共工程委员会, 2004. 389– 418.

[4] 李黄允. 以二阶段人工湿地去除生活污水中之营养盐[R]. 中山大学, 环境工程研究所, 2001. 135.

[5] 李汉铿. 砾间接触法对小型河川水质之改善, 生态工法系列讲座(八)[Z]. 逢甲大学营建及防灾研究中心, 2005, 3– 1 ~ 3 ~ 27.

[6] 林莹峰. 湿地对于水资源之保育管理及永续利用—子计划三: 水产养殖废水之人工湿地处理及循环再利用之研究(1)[R]. “科学委员会”专题研究计划成果报告 zNSC88– 2621– Z– 041– 001), 1999.

[7] 林莹峰, 荆树人. 人工湿地生态工法在水污染防治上的应用及案例[A]. 2004 生态工法案例编选集[M]. “公共工程委员会”, 2004. 419– 498.

[8] 荆树人. 社区水资源再利用与永续经营[Z]. 嘉南药理科技大学生态工程技术研发中心, 2005. 1– 12.

[9] 许文明. 以现地及小型人工湿地探讨数种水生植物净化养猪废水之效能比较[D]. 屏東科技大学环境工程与科学系, 2002. 144.

[10] 陈意昌, 林信辉, 刘昌文. 农村社区土地重划结合近自然工法探讨[J]. 乡村发展, 2005, 5.

[11] 陈盈利. 人工湿地在河川水质改善之应用研究[D]. 屏東科技大学环境工程与科学系, 2004. 114.

[12] 陈柏州. 以人工湿地净化水质之研究[D]. 高雄第一科技大学环境与安全卫生工程系, 2004. 40– 100.

[13] 杨磊. 人工湿地应用于海岸及离岛型工业区废水污染防治可行性之评估—以台湾六轻麦寮厂为例[J]. 台湾湿地, 2001. 25.

(上接第 6 页)

[11] 颜正平. 梨山地区落叶果树根系调查[J]. “中华水土保持学报”, 1975, 6(1): 11– 25.

[12] 颜正平. 坡地落叶果树根系初步调查[J]. “中华水土保持学报”, 1974, 5(2): 46– 55.

[13] 颜正平. 台湾木本植物根系分布深度及密度形态调查[J]. “中华水土保持学报”, 1974, 5(1): 105– 123.

[14] 颜正平, 胡苏澄. 坡地常绿果树根系初步调查[J]. “中华水土保持学报”, 1973, 4(2): 5– 30.

[15] 颜正平. 水土保持植物根系分布基本形态调查[J]. “中华水土保持学报”, 1973, 4(1): 65– 85.

[16] 颜正平. 水土保持木本植物根系分布类型研究[M]. “中华水土保持学报”, 1973, 3(2): 201– 204.

[17] Pham, C H, C P Yen, G S Cox, et al. Slope position, soil water storage capacity and black walnut root development[A]. Soil moisture site productivity Symp. Proc, USDA For. Serv. Southeastern Area, State and Private Forestry[C]., 1978. 326– 335.

[18] Yen, C P. Tree root pattern and erosion control[A]. Pro. Symp. on soil erosion and its counter-measure[C]. Chiangmai, Thailand, 1984, 92– 111.

[19] Yen, C P, C H Pham, G S Cox, et al. Garret, Soil depth and root development patterns of Missouri black walnut and certain Taiwan hardwoods[A]. Proc. symp. on root form of planted tree[C]. Victoria, British Columbia, Canada, 1978, 36– 43.