



STUDY ON SUBSURFACE WASTEWATER
INFILTRATION SYSTEM

污水地下渗滤系统研究

潘 晶 著



科学出版社

污水地下渗滤系统研究

潘 晶 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书阐述了地下渗滤系统的基础理论,内容包括:地下渗滤处理系统,地下渗滤系统土壤基质优化研究,地下渗滤系统构建、启动周期及运行参数研究,地下渗滤系统土壤基质中微生物及其多样性和酶活性特征,地下渗滤系统强化脱氮研究,地下渗滤系统去除环境激素类物质效能研究,地下渗滤系统堵塞机制研究,地下渗滤系统预防与控制基质堵塞研究。本书研究内容对于丰富分散污水处理和资源化的理论体系具有重要的科学意义,为地下渗滤技术在我国分散污水处理中的应用奠定基础。本书结构紧凑、体系完整、内容先进,具有较高科学意义。

本书可作为市政工程、水资源保护、生态、环境科学与工程科技人员和研究人员的参考书,也可作为高等学校相关专业本科生、研究生、教师的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

污水地下渗滤系统研究/潘晶著. —北京:科学出版社,2015.3

ISBN 978-7-03-043777-8

I. ①污… II. ①潘… III. ①污水处理-研究 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 052095 号

责任编辑:朱 丽 杨新政 / 责任校对:韩 杨

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 3 月第一次印刷 印张:18 1/2

字数:360 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

我国是世界上 13 个贫水国家之一,日缺水量已超过 1600 万立方米,且呈继续扩大趋势,水污染是造成缺水的重要原因。城市污水管网收集不到或集中处理不经济的生活污水称为分散生活污水。分散式生活污染源产生或排放的污水由于得不到很好的治理,随意就地排放,最终汇入江河、湖泊等水体,造成水体污染。建设部和国家环境保护总局于 2000 年发布了《城市污水处理及污染防治技术政策》,要求对分散的废水进行就地处理达标排放。地下渗滤是一种值得推荐的分散污水生态处理技术,在经济规模不能满足采用集中污水处理模式的情况下,将低耗高效的地下渗滤技术纳入污水处理与资源化技术体系中,显得尤为重要和迫切。美国、俄罗斯、日本、澳大利亚和西欧等国家和地区长期以来一直重视地下渗滤系统的研究和应用,该技术在我国也得到了创新性发展,但其中一些关键科学问题尚未得到全面和系统的回答与解决,影响了该技术在我国的进一步推广及应用。

本书是笔者在从事近 10 年污水地下渗滤系统研究的基础上编写的,全书共 9 章,具体内容包括:绪论,地下渗滤处理系统,地下渗滤系统土壤基质优化研究,地下渗滤系统构建、启动周期及运行参数研究,地下渗滤系统土壤基质中微生物及其多样性和酶活性特征,地下渗滤系统强化脱氮研究,地下渗滤系统去除环境激素类物质效能研究,地下渗滤系统堵塞机制研究,地下渗滤系统预防与控制基质堵塞研究。这些研究内容可以有效解决地下渗滤系统在设计、施工、运行和管理过程中的关键问题,有助于全面了解地下渗滤系统的最新研究进展,也有助于专业人员对该技术进行分析、选择和应用。

在本书编写过程中,研究生宋思雨、袁方、费鹤馨等查阅和整理了大量文献资料。本书的出版得到国家自然科学基金项目(41001321)(41471394),沈阳师范大学重大孵化项目(ZD201403)和沈阳师范大学学术文库专著项目(201408170019)的支持,在此一并表示感谢。

由于笔者水平有限,书中难免有缺点和错误之处,敬请同行专家和读者批评指正。

著 者

2015 年 2 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 我国水资源和污水处理现状	1
1.2 分散生活污水来源及特点	2
1.3 分散污水处理国内外研究进展	2
1.4 分散生活污水处理技术	5
1.4.1 分散生活污水处理概况	5
1.4.2 污水生态处理原理	5
1.4.3 分散污水生态处理优点	6
1.4.4 污水生态处理技术体系	7
第 2 章 地下渗滤处理系统	11
2.1 引言	11
2.2 地下渗滤处理系统基本原理及应用	11
2.2.1 地下渗滤系统基本原理	11
2.2.2 地下渗滤系统应用	12
2.3 地下渗滤处理系统净化机制及污染物去除途径	13
2.3.1 净化机制	13
2.3.2 污染物去除途径	15
2.4 地下渗滤系统研究的热点	20
2.4.1 地下渗滤系统基质	20
2.4.2 地下渗滤系统运行参数	21
2.4.3 地下渗滤系统土壤微生物	23
2.4.4 地下渗滤系统土壤酶	29
2.4.5 地下渗滤系统堵塞	31
2.4.6 地下渗滤系统氮的去除	32
第 3 章 地下渗滤系统土壤基质优化研究	36
3.1 引言	36
3.2 草甸棕壤改良研究	38
3.2.1 实验材料与方法	38
3.2.2 结果与讨论	44

3.2.3 小结	52
第4章 地下渗滤系统构建、启动周期及运行参数研究	54
4.1 引言	54
4.2 实验装置	55
4.3 地下渗滤系统启动周期研究	57
4.3.1 实验材料与方法	57
4.3.2 结果与讨论	60
4.3.3 小结	71
4.4 水力负荷对地下渗滤系统净化效果的影响研究	72
4.4.1 实验材料与方法	72
4.4.2 结果与讨论	72
4.4.3 小结	80
4.5 污染负荷对地下渗滤系统净化效果的影响研究	82
4.5.1 实验材料与方法	82
4.5.2 结果与讨论	82
4.5.3 小结	90
4.6 温度对地下渗滤系统去除效果的影响研究	91
4.6.1 实验材料与方法	91
4.6.2 结果与讨论	91
4.6.3 小结	100
第5章 地下渗滤系统土壤基质中微生物及其多样性和酶活性特征	101
5.1 引言	101
5.2 地下渗滤系统土壤基质中微生物研究	104
5.2.1 实验材料与方法	104
5.2.2 结果与讨论	104
5.2.3 小结	114
5.3 地下渗滤系统土壤基质中微生物多样性研究	116
5.3.1 实验材料与方法	116
5.3.2 结果与讨论	118
5.3.3 小结	122
5.4 地下渗滤系统土壤基质中酶活性研究	123
5.4.1 实验材料与方法	123
5.4.2 结果与讨论	124
5.4.3 小结	135

第 6 章 地下渗滤系统强化脱氮研究	137
6.1 引言	137
6.2 干湿交替运行强化脱氮研究	139
6.2.1 实验材料与方法	139
6.2.2 结果与讨论	139
6.2.3 小结	144
6.3 进水中间分流强化脱氮研究	144
6.3.1 实验材料与方法	144
6.3.2 结果与讨论	145
6.3.3 小结	153
6.4 生物基质强化脱氮研究	154
6.4.1 实验材料与方法	154
6.4.2 结果与讨论	154
6.4.3 小结	161
第 7 章 地下渗滤系统去除环境激素类物质效能研究	162
7.1 引言	162
7.2 地下渗滤系统去除 LAS 研究.....	165
7.2.1 实验材料与方法	165
7.2.2 结果与讨论	165
7.2.3 小结	170
7.3 地下渗滤系统去除苯酚研究	171
7.3.1 实验材料与方法	171
7.3.2 结果与讨论	171
7.3.3 小结	176
7.4 地下渗滤系统去除 Pb 研究	176
7.4.1 实验材料与方法	176
7.4.2 结果与讨论	177
7.4.3 小结	182
第 8 章 地下渗滤系统堵塞机制研究	183
8.1 引言	183
8.2 颗粒物与微生物引发地下渗滤系统堵塞研究	186
8.2.1 实验材料与方法	186
8.2.2 结果与讨论	192
8.2.3 小结	228

第 9 章 地下渗滤系统预防与控制基质堵塞研究	231
9.1 引言	231
9.2 间歇进水预防与控制地下渗滤系统基质堵塞研究	233
9.2.1 实验材料与方法	233
9.2.2 结果与讨论	233
9.2.3 小结	242
9.3 混凝预处理预防与控制地下渗滤系统基质堵塞研究	243
9.3.1 实验材料与方法	243
9.3.2 结果与讨论	243
9.3.3 小结	252
9.4 布水口通风预防与控制地下渗滤系统基质堵塞研究	253
9.4.1 实验材料与方法	253
9.4.2 结果与讨论	253
9.4.3 小结	264
参考文献	266

第 1 章 绪 论

1.1 我国水资源和污水处理现状

水是自然界普遍存在的物质之一,是人类赖以生存和发展的基本条件,它对人类文明和进步起着至关重要作用。

我国水资源总量约为 28 084.52 亿 m^3/a ,居世界第六位。但人均占有量只有约 2300 m^3/a ,约为世界人均水平的 1/4,排在世界第 121 位,是世界上 13 个贫水国家之一(周启星等,2011)。全国城市每年缺水 60 亿 m^3 ,日缺水已超 1600 万 m^3 。随着全球污染的加剧,环境的恶化,水资源供需矛盾日益突出,对于正处在经济高速发展时期的我国,这一问题尤为严重。目前,全国约有 1/3 的工业废水和大量的生活污水未经处理直接排入江河、湖泊和海洋,使水环境遭到严重的破坏。许多河流成为排水沟,许多湖泊富营养化严重,近 50% 的重点城镇水质不符合饮用水标准,形成了污染性缺水问题(周乾兴,2003)。

20 世纪 70 年代以来,我国开始水污染预防和治理,但水污染恶化的局势未能得到有效控制,日趋严重的水污染不仅降低了水体的使用功能,而且加剧了水资源短缺的矛盾。2002 年,全国污水排放量 439.5 亿 m^3 ,其中工业废水 207.2 亿 m^3 ,生活污水 232.2 亿 m^3 ,而全国污水处理能力只有 113.6 亿 m^3 ,污水处理率仅为 34.23%。《中国环境统计年报》报道,2012 年,全国废水排放量 684.8 亿 t,比上年增长 3.9%。工业废水排放量 221.6 亿 t,比上年减少 4.0%;占废水排放总量的 32.3%,比上年减少 2.6 个百分点。城镇生活污水排放量 462.7 亿 t,比上年增长 8.1%;占废水排放总量的 67.6%,比上年增长 2.7 个百分点。2012 年,全国共调查统计 4628 座城市污水处理厂,比上年增长 654 座;设计处理能力为 15 313.8 万 t/d ,比上年新增 1322.9 万 t/d 。全年共处理废水 416.2 亿 t,比上年增长 13.3 亿 t,其中,处理生活污水 361.8 亿 t,占总处理水量的 86.9%。现代污水处理技术,根据多方面因素,如城市规划中管网完善程度,城市污水处理厂位置、规模、设备情况,基本可以划分为两种:集中式处理系统和分散式处理系统(汤宗武,2008)。我国城市污水处理方式多采用集中处理,城市生活污水处理率已达到 80% 以上,城市生活污水得到了有效控制。

远离城区居民点的生活污水难以全部收集入城市污水处理厂,这些城市污水管网收集不到或集中处理不经济的生活污水称为分散式生活污水,主要包括各种

疗养院、度假村、别墅区、远离城区的一些单位以及零星分布的公寓型村镇等产生的生活污水(郭永龙等,2004)。分散式生活污染源产生或排放的污水由于得不到很好的治理,随意就地排放,最终汇入江河、湖泊等水体(张建等,2002b)。根据《全国第一次污染源普查》及《村庄人居环境现状与问题》调查报告显示,每年我国农村地区所产生的生活污水约 80 多亿 t。大约 96% 的农村地区没有专门的污水处理系统,甚至没有排水渠道。这些村镇所产生的生活污水基本处于随意排放的状态,对水环境质量造成了严重的污染。农村水环境污染问题影响了饮水安全,制约了农村地区的经济发展(张家玮等,2011;孙宗健等,2007)。建设部和国家环境保护总局于 2000 年发布了《城市污水处理及污染防治技术政策》,要求对分散的废水进行就地处理达标排放。积极开展分散式污水处理模式及应用的相关研究具有重要的现实意义。

1.2 分散生活污水来源及特点

分散生活污水按来源成分,可分为 5 类:含粪便的污水,以尿液为主的污水,洗衣水、洗碗水、淋浴水、洗澡水和清洗水等,厨房洗涤水,不适合就地处理和回用的固体废物产生的废水(王晓昌等,2004)。

分散生活污水特点主要有:①相对于城市生活污水而言,排放量较小;②有机物含量偏高,生化性较好;③氨氮含量偏高;④污水就近直接排放沟渠,冲刷土壤,浊度特别高;⑤间歇排放波动大,波动系数为 3.5~6.0。

在我国,分离收集仍未得到推广,故分散生活污水的混合程度较高,成分变化幅度较大,这在一定程度上限制了分散污水处理技术的开发和应用。

1.3 分散污水处理国内外研究进展

污水处理过程需要大量资金,并受限于自然条件,发达国家在对污水处理的过程中也同样面临这些制约因素。美国、日本和挪威等发达国家根据其实际情况,本着因地制宜的基本原则,采用了合理、多样化的污水分散式处理模式,并且取得了很好的效果,为我国分散污水处理提供了参考。

早在 20 世纪,从 70 年代到 90 年代近 20 年的时间里,美国联邦政府为开展集中式生活污水处理设施的建设以及升级改造相关工程,先后投资 620 亿美元。这一举措对于美国城市污水处理事业起到了积极的推动作用。但是,应用集中式污水处理技术处理分散在城市区域外的污水而言,成本太高。本着可持续发展的理念,美国非常重视采取源头控制、现场回收所排放污水中的能源和资源。目前,美国多采用分散式污水处理系统,分散式污水处理技术是一种新型、经济环保的污水

处理系统(United States Environmental Protection Agency, 1981)。对于居住比较分散的广大农村及偏远地区,由于受到地理条件和经济因素等制约,不适合进行集中式生活污水处理,选择和发展因地制宜的分散式生活污水处理技术已经成为美国生活污水处理的一种新理念(郝晓地等, 2008)。在美国佛蒙特州,分散式污水处理系统的使用率可以达到 55%;50%的加利福尼亚州和缅因州的住宅都在使用分散式污水处理系统;美国东南部各州大约有三分之一的住宅都使用分散式污水处理系统,其中肯塔基州与南卡罗来纳州分散式污水处理系统的使用率达到 40%,北卡罗来纳州其使用率达 48%。美国区域污水处理率达到 95%以上,水环境质量得到显著的改善(袁铭道, 1986)。

目前,日本生活污水处理方法主要有公共污水处理厂和净化槽两套系统。其中,公共污水处理厂是利用管网收集污水并将污水输入污水处理厂进行非现场处理;净化槽系统则不需要管网,是在现场进行污水处理,这一系统特别适用于分散的水污染源,尤其是城市周边的区域。

净化槽系统在日本的发展先后经历了单独处理净化槽系统、合并处理净化槽系统、深度处理净化槽系统等几个阶段。其技术原理是物理处理和生化处理相结合,通过微生物分解、物理沉淀和化学絮凝反应来削减污水中污染物的量(王晓昌等, 2004)。其中,单独处理净化槽系统是一个仅仅处理粪便的净化装置,这一系统在当时经济发展水平相对较低的时期解决了公共卫生问题。合并处理净化槽系统则既能够处理粪便又能够处理各种生活杂排水,其出水生化需氧量(BOD) ≤ 20 mg/L,通过安装合并处理净化槽可以实现对生活污水的就地处理,并能够做到达标排放。深度处理净化槽不仅能有效削减 BOD,还能除磷脱氮。近些年来,日本政府大力发展和推动分散型污水的治理工作,净化槽系统的使用人口和使用区域每年都呈现明显递增的态势,特别是深度处理净化槽。根据 2004 年的统计显示,净化槽系统的普及率达到 8.4%,使用人口约为 1000 万。同时,日本已经形成了比较完善的法律法规体系、技术标准体系和技术服务体系。

挪威分散式污水处理系统主要包括小型污水处理厂和微型处理设备两种(Mavrov et al., 2006)。大部分行政区的人口都分布在郊区的小村庄或者是小社区。这些社区一般都设有具有污水收集系统的小型污水处理厂,由于规模小,这些系统都具有明显的分散性污水处理系统的特征(侯立安, 2003)。通常把服务人口约 35~500 人的污水处理厂称为小型污水处理厂,以区别人口少于 35 人或者是 7 户的微型污水处理厂。在挪威,大约有 25%的人口居住在没有任何污水集中收集的地区,这些地区的污水采取分散式的就地处理。根据挪威环境管理局的相关规定,1~7 户家庭所组成的小型社区可以使用单独的分散式就地污水处理系统。这些就地污水处理系统一般包括化粪池、配水系统和土地渗滤系统等(王晓昌等, 2004)。在土壤渗透性差而不能使用土地渗滤法处理的区域往往使用预置的集成

处理设备以处理所排放的家庭生活污水(康璇等,2011),处理方式一般是先将所排放污水经由化粪池预处理,然后进行生物处理、化学处理或者二者联合的处理过程。

我国的分散式污水处理相关科研工作起步较晚,开始于20世纪80年代末。与发达国家相比,从分散式污水处理的工艺技术方面到国家政策法令和公民环保意识方面,都存在明显的差距(李无双等,2008)。我国在对分散式污水处理的研究中,开始考虑较多的是对建筑小区污水的处理,而且是传统工艺的组合,基本等同于大型污水处理厂的小型化(康璇等,2011;姚琦,2009)。随着科学技术的发展,污水处理设施实现了装置化、小型化,污水分散处理和回用不断推进(周彤,2002)。在污水分散式处理模式应用方面,经济相对发达地区走在了前列,为解决我国农村地区及无市政管网覆盖地区的污水处理提供了宝贵经验(郑琳等,2011)。

随着农村经济的发展及其乡镇企业规模的扩大,上海市农村地表水体环境质量不断地恶化,农村生活污水几乎没有经过任何收集和处理,就直接排放到河流等水体中,使得大部分河流及湖泊等水体水质处于V类或劣V类水平,甚至长期处于黑臭状态。据统计,2008年上海市市区污水纳管率达80%,而农村地区的生活污水就地处理率仅仅是27.3%,并且大都只采用化粪池等初级处理工艺,污水直排率达85.7%。2009年作为上海市农村生活污水处理工作全面开始实施的第一年,全年计划完成两万户处理任务。截至2009年9月底,上海市共完成8626户农村生活污水处理工程建设,占2009年度计划任务量的43%。全市剩余计划也都于11月底提前完成。同时,各区县也在农村生活污水处理长效管理工作方面进行了各种积极的探索和研究。

为了切实有效地解决北京市农村污水处理的问题,北京市水务局和北京市发改委联合编制了《北京市村镇集约化治污规划》,要求到2010年底,全市村镇污水处理率要达到50%,其中重要水源保护村镇污水处理率达到90%,重点村镇污水处理率达到90%,村镇再生水利用率要达到30%以上。到2020年,北京市村镇地区的水环境污染要得到基本控制。2006年北京市的78个新农村试点村中,有55个村污水纳入集中处理系统;20个主要集中在山区和丘陵地区的村庄采用污水分散式处理系统;此外还有3个距离市政污水集中式处理管网较近的村庄,其污水直接接入市政管网。

中国生活污水分散处理的研究与起步较早的发达国家和地区相比在各方面都存在明显的不足,因此,要加大国际交流,强化民众的环保意识,积极探索和研发适合中国的分散生活污水处理技术与工艺。

1.4 分散生活污水处理技术

1.4.1 分散生活污水处理概况

在考虑分散式污水处理的问题上,既要满足当前的达标排放,不对周边环境造成污染和危害,又要从长远的角度考虑回用的需要(贾宏宇等,2001;Wu et al., 2011)。针对分散污水产生地区的地形地势、道路交通条件以及居民住宅建设布局等具体情况,探索出因地制宜的分散污水的小规模收集处理方式,既解决当前分散生活污水的达标排放问题,又充分考虑了今后污水回用的需要,节约水资源、保护水环境,促进当地的社会经济发展与资源、环境相协调,这是确定分散式污水处理方式应该考虑的关键因素。

目前可以在小型社区、分散单位机构和农村应用的分散污水处理工艺大致可分为2类:①利用土壤作为处理载体和排放载体的自然生态处理系统,包括土壤快速渗滤、慢速渗滤、地下渗滤和人工湿地等,以及一些污泥和化粪池污泥处理系统;②利用复杂的生物和物理过程的传统处理系统,将各种池体、水泵、鼓风机和其他机械作为一个处理整体,这些处理包括微生物悬浮生长、附着生长以及两者混合生长的形式。第2类处理方式是各种污水处理厂处理工艺中简化而来的,有的甚至是污水处理厂的一种微缩版(Oiler et al., 2011)。由于其工艺复杂、运行管理费用高等原因一直很难被推广利用,为此需要寻找一种简单、低成本的处理技术,因此以土地处理系统为代表的第1类污水自然生态处理技术适应了这一要求(李慧等,2004)。

1.4.2 污水生态处理原理

污水生态处理技术是指运用生态学原理,采用生态工程与环境工程相结合的手段对污水进行治理与水资源利用的方法,是生态学4大基本原理在水资源领域的具体运用(孙铁珩,2004)。以土地处理系统为代表的分散式污水自然生态处理技术,不仅对各种污染物具有极高的去除效率,还可实现污水处理与利用相结合的目的,其投资及运行费用为常规处理的 $1/3 \sim 1/2$;既可替代常规处理,又可作为常规处理的深度处理技术,是常规处理的一种革新与替代技术(孙铁珩等,2001a; 2001b)。另外,工业用水的80%和生活用水的60%并不需要十分洁净的水质,土地处理系统的出水可作为中水进行回用。开发中水资源,是实现污水处理无害化、资源化的重要途径之一,是解决水资源危机的重要技术政策(王焕校,1990)。污水生态处理原理主要有:循环再生原理,和谐共存原理,整体优化原理和区域分异原理(孙铁珩,2004)。

1) 循环再生原理

生态系统通过生物成分,一方面利用非生物成分不断地合成新的物质,另一方面又把合成物质降解为原来的简单物质,并归还到非生物组分中。如此循环往复,进行着不停顿的新陈代谢作用。这样,生态系统中的物质和能量进行着循环和再生的过程。污水生态治理技术的主要目标就是使生态系统中的非循环组分成为可循环的过程,使物质的循环和再生的速度能够得以维持或加大。

2) 和谐共存原理

由于循环与再生的需要,污水的生态处理系统中各种植物与微生物种群之间、各种植物之间、各种微生物之间和生物与处理系统环境之间和谐共存,植物给根系微生物提供生态位和适宜的营养条件,促进微生物的生长和繁殖,促使污水中植物不能直接利用的那部分污染物转化或降解为植物可利用的成分,反过来又促进植物的生长和发育。如果该处理系统没有它们的和谐共存,处理系统就会崩溃,就不可能进行有效的污水治理。

3) 整体优化原理

污水的生态处理技术涉及点源控制、污水传输、预处理工程、布水工艺、植物选择和再生水的利用等基本过程,缺一不可,它们构成了污水生态处理系统的整体。对这些基本过程进行优化,才能充分发挥处理系统对污染物的净化功能和对水、肥资源的有效利用。

4) 区域分异原理

由于不同区域在气温、土壤类型、微生物种群和水文条件等方面差异很大,导致污水中污染物质在迁移、转化、降解等生态行为上具有明显的区域分异。在设计污水的生态处理系统时,必须有区别地进行布水工艺与植物的选择及结构配置和运行管理。

1.4.3 分散污水生态处理优点

1) 维护生态平衡,减少能量消耗

分散式污水生态处理不仅可以使污水中的水得以再生利用,而且还可使污水中的有机物以及 N、P、K 等营养物再次得以利用,整个系统呈自然式良性循环,构成具有自适应、自净化的水陆生态系统,从而进一步实现水环境的可持续发展。

2) 节约用水,实现污水资源化

分散式污水生态处理强调污水回用,污水处理后可作为非饮用水回用,提高水循环利用率和用水效率。

3) 节省投资

采用分散式污水处理系统,其管网投资和运行费用远远小于集中处理,可以做到每开发 1 个小区,就净化 1 个小区,克服了城市建设中先污染后治理的弊病,而

且还可使污水处理的投资主体由政府转变为房地产开发商和居民,这不仅符合谁污染谁治理的原则,还减轻了政府的财政压力。

4) 因地制宜

分散式污水处理技术的设计具有很强的针对性,设计者可以根据被设计地区的实际情况(地下水情况、土壤土质以及处理要求)进行选择。可以与建筑物同时设计建设,从而解决污水处理设施投资超前无力、投资滞后污染的问题。

5) 解决小型社区、分散单位机构和农村地区的污水处理问题

分散污水的特点是分散、量小、远离群居和大水体、水环境容量小以及管理水平低。分散式污水生态处理技术具有处理效果稳定、投资少、管理简单等优点。

1.4.4 污水生态处理技术体系

污水生态处理技术以土地处理方法为基础,是污水土地处理系统的进一步发展,以土壤介质的净化作用为核心,在技术上特别强调在污水污染成分处理过程中植物-微生物共存体系与处理环境或介质的相互关系,特别注意对生态因子的优化与调控(孙铁珩等,1997)。

污水土地处理系统是运用生态学原理加工程学方法而形成的生态学污水处理技术,其实际上是追求土壤、含水层和植物的“处理”与“利用”两个功能的总体实现。污水土地处理系统可以定义如下:在人工控制条件下将污水投配在土地上,通过土壤-植物系统,进行一系列物理的、化学的、生物的吸附、过滤与净化作用和自我调控功能,使污水中可生物降解的污染物得以降解、净化,其氮、磷等营养物质和水分得以再利用,使水质得到不同程度改善,实现废水资源化与无害化的常年性生态系统工程(高拯民等,1991)。

污水土地处理技术有5种基本类型:慢速渗滤、快速渗滤、地表漫流、湿地和地下渗滤处理法(孙铁珩,2004)。土地处理系统工艺类型的选择,主要是根据土壤性质、透水性、地形、种植作物种类、气候条件和对污、废水处理程度的要求等来选择。

1. 慢速渗滤处理法

慢速渗滤土地处理法是将污水有控制地投配到土壤或种有植物的土壤表面,污水在流经土壤表面及土壤-植物系统内部时垂直渗滤并得到净化的土地处理工艺(Ralhhun et al., 2012)。慢速渗滤系统必须经过周密的设计才能为系统的安全运行打下良好的工程基础,其中水力负荷和有机负荷是重要的设计参数,也是目前国内外进行工程设计时比较关注的参数;水力负荷大小的选用,除了与污水本身的水质因素有关外,主要依赖于土壤性能和选择作物的耐氮性能。与传统污水灌溉相比,该系统不仅利用污水中的水肥资源,而且通过对单位面积污染负荷与同化容量的严格计算,确定最低限制因子,同时采用多样化的生态结构,将污水有控制地

投配到土地上;针对不同污染负荷设计不同的水力负荷的有效分配,保证系统在最佳状态下连续运行(Morton, 2001)。慢速渗滤处理法可分为两种基本类型:①小水量大面积类型,在中国缺水的北方地区,以兼用水、肥资源和水处理为目的,在地广人稀、土地资源充足的地区,采用尽可能大的土地面积处理小水量污水的类型;②大水量小面积类型,在城镇郊区,土地资源紧张,以处理污水、再生水为主要目的,在尽可能小的面积上以高水力负荷处理污水。从国内外实际运行的工程实例来看,慢速渗滤系统对污水的净化效果较好,主要是因为土壤-植物系统包含了过滤、吸附和生物氧化等十分复杂的综合过程。由于土壤是多相、多孔、高度分散的体系,所以它有使污水得到净化的特殊功能。慢速渗滤系统的污水投配负荷一般较低,渗滤速度慢,故污水净化效率高,出水水质优良。目前,慢速渗滤已发展成为替代三级深度处理的重要水处理技术之一,在一定条件下尚可替代二、三级处理。

2. 快速渗滤处理法

快速渗滤处理法是将污水有控制地投配到具有良好渗滤性能的土壤表面,污水通过重力作用在向下渗滤过程中经过生物氧化、硝化、反硝化、过滤、沉淀和还原等一系列作用而得到净化的污水土地处理工艺(Bouwer et al., 1980)。其工艺目标主要有:①污水处理与再生水补给地下水;②用地下暗管或竖井收集再生水以供回用;③通过拦截工程措施,使再生水从地下进入地表;④再生水季节性地储存在具有回收系统的处理场之下,在作物生长季节用于灌溉。适用于土层较厚(大于1.5 m),渗透性能良好的粗质地土层,如亚砂土、砂质土等。要求地下水深在2.5 m以上,地面有一定的坡度,距离人口密集区有一定的距离。在系统设计时,需要考虑的关键工艺参数主要有:①土壤渗透系数为0.36~0.6 m/d;②年水力负荷为6~150 m/a,年有机负荷为 3.6×10^4 kg BOD/(hm²·a)。快速渗滤工艺的显著优势是可保证终年运行,即使在寒冷的北方地区也是如此。快速渗滤对化学需氧量(COD)、BOD都有较高的去除率,美国的典型快速渗滤出水水质与慢速渗滤工艺的效果相当,BOD达到0~8 mg/L。

3. 地表漫流处理法

地表漫流处理法是将污水有控制地投配到生长多年生牧草、坡度缓和、土地渗透性能低的坡面上,使污水在地表沿坡面缓慢流动过程中得以充分净化的污水土地处理工艺。该系统的净化机理是利用“土壤-植物-水”体系对污染物的巨大容纳、缓冲和降解能力,分布于地表的生物膜对污染物有吸附、降解和再生的作用,植物的均匀布水作用,且阳光既可以提高系统活力,又可以杀灭病原体及促进污染物的分解,大气给了微生物良好的呼吸条件,即污水地表漫流土地处理系统构成了一个“有活力”的生物反应器。研究表明,在进行污水地表漫流土地处理系统设计时,

需要考虑的场地工艺参数主要包括:地面最佳坡度为 $2\%\sim 8\%$;土壤类型选择渗透性能低的土壤,以黏土、亚黏土最为适宜,或在 $0.3\sim 0.6\text{ m}$ 以下有不透水层;植物选择以根系发达,耐污性强,固定吸收污染物强的植物为主;对于城市污水,水力负荷通常采用 $2\sim 4\text{ cm/d}$;污水投配频率为 $5\sim 7\text{ d/周}$;污水投配时间为 $5\sim 24\text{ h}$ (李慧等,2004)。地表漫流系统对污水预处理要求程度较低,出水以地表径流收集为主,对地下水影响最小,在处理过程中,除少部分水量蒸发和渗入地下外,大部分再生水经集水沟回收。

4. 湿地处理法

湿地处理法是将污水有控制地投配到土壤-植物-微生物复合生态系统,并使土壤经常处于饱和状态,污水在沿一定方向流动过程中在耐湿植物和土壤相互联合作用下得到充分净化的土地处理工艺(Chen et al., 2008)。该处理系统的工艺目标包括:①直接处理污水;②对经人工或其他工艺处理后的污水进行再处置或深度处理;③利用污水营造湿地自然保护区,为野生群落提供有价值的生态栖息地(Donner et al., 2010)。在进行湿地设计时,需要考虑的工艺参数包括:①土壤渗透系数 $\leq 0.12\text{ m/d}$;②年水力负荷为 $3\sim 30\text{ m/a}$,年有机负荷为 $1.8\times 10^4\text{ kg BOD}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$;③地面坡度 $<2\%$,土层厚度 $>0.3\text{ m}$;④最常用的修复植物有芦苇属、灯心草属、香蒲属和菴草属植物。湿地废水处理法基建投资和运行费用低,可常年运行,运行管理方便;处理效果好,出水水质优于生物处理,对氮、磷、重金属和难降解有机物也有较好的处理效果;湿地植物有一定的经济价值。

5. 地下渗滤处理法

地下渗滤处理法是将污水有控制地投配到具有一定构造和良好扩散性能的地下土层中,污水在经毛管浸润和土壤渗滤作用后向周围和向下运动并在此过程中达到处理、利用要求的污水处理工艺(Zhang et al., 2005)。该生态系统的净化功能,采用在土壤亚表面布水的方式投配污水,使污水中的污染物在生态系统的物质循环中进行降解、净化水质,使污水中的能量通过生态系统的能量转化逐级充分利用,以维持生态系统正常发挥的中小规模的自然生态处理工程(Hossain et al., 2010)。该处理系统主要应用于分散的小规模污水处理,其工艺目标主要包括:①直接处理污水;②在地下处理污水的同时为上层覆盖绿地提供水分与营养,使处理场地具有良好的绿化带镶嵌其中;③产生优质再生水以供回用;④节约污水集中处理的输送费用。地下渗滤处理法具有不影响地面景观、基建及运行管理费用低、运行管理简单、氮磷去除能力强、处理出水水质好、可用于污水回用等特点。地下渗滤目前成为就地处理分散污水的常用方法,适用于农村、乡镇、远离城市的分散度假区等,由于污水直接引入土层深处,较少引起环境污染问题。