



国家“八五”科技攻关环境保护项目
技术集成系列丛书

城市污水土地处理 技术指南

国家环境保护局科技标准司 编

中国环境科学出版社

序

为实现“九五”期间国家环境保护的总目标,即“到 2000 年,力争使环境污染和生态破坏加剧的趋势得到基本控制,部分城市 and 地区的环境质量有所改善”,国家环境保护局将采取“污染物排放总量控制”和实施“跨世纪绿色工程”两大举措,重点治理“三河”、“三湖”的水污染和“两控区”的大气污染。为实现上述目标和贯彻可持续发展战略方针,不仅需要强化管理和适当增加投入,更重要的是必须坚定不移地依靠科学技术。

国家环境保护局在“六五”、“七五”、“八五”期间,受国家计委、国家科委、财政部的委托,与有关部门共同组织环境保护战线的近万名科技人员,经过十多年的科技攻关,取得了丰硕的攻关成果,在解决我国煤烟型大气污染、水污染、固体废弃物污染等方面取得了一批重要成果。这些成果中包括:高效除尘技术;工业型煤技术;循环流化床燃烧脱硫节能技术;中、小锅炉脱硫除尘技术;城市污水处理与资源化技术;城市污水自然净化技术(土地处理、稳定塘及深海处置技术);湖泊富营养化综合治理技术;造纸、印染、农药、焦化、染料等高浓度、难降解有机工业废水治理技术;铬渣治理与综合利用技术;电镀废水和废渣处理与利用技术;有害废物安全处置技术等。仅“八五”期间就开发新技术、新工艺、新产品 85 项,获专利 5 项,建成示范工程、中试生产线、试验基地 71 个,创直接经济效益 2.2 亿元。在已通过鉴定的 44 项专题成果中,有 6 项达国际领先水平,32 项达国际先进水平,6 项达国内领先水平。一批成果已经在环境建设和环境管理工作中得到应用并发挥了较好的环境、社会 and 经济效益。

为了配合国家环境保护局“九五”期间的工作重点,大力推广科技攻关成果,适应污染物排放总量控制和工业污染源达标排放

工作的需要,国家环境保护局科技标准司组织参加科技攻关的部分专家和工程技术人员,对十多年来在污染治理技术方面的攻关成果进行了认真的收集、调研、筛选、评价,以技术指南的形式编写成册,作为系列丛书出版,以供环保系统及各行业负责环保工作的领导、管理人员、环保科技人员、环保技术开发人员、工程设计人员以及大专院校环保专业的师生使用。为突出国家科技攻关环境保护项目成果的实用性,所选编的技术以“八五”攻关为主。本套技术指南由下列6册组成,分别由专家主持编写:①湖泊污染控制技术指南(主编:中国环境科学研究院金相灿研究员);②城市污水土地处理利用技术指南(主编:中科院沈阳应用生态研究所孙铁珩研究员);③城市污水稳定塘处理技术指南(主编:北京建筑工程学院李献文教授);④小造纸厂污染防治技术指南(主编:北京轻工业学院张珂教授);⑤电镀污泥及铬渣资源化实用技术指南(主编:中科院化工冶金研究所张懿研究员);⑥中、小型燃煤锅炉烟气除尘脱硫实用技术指南(主编:北京轻工业学院张溱芳教授)。

本套丛书的策划和选材工作由尹改、祝兴祥同志全面主持,周思毅、罗毅同志负责全过程的组织管理,周泽江、向锋、刘鲁君、杨景辉、钱谊等同志负责丛书的编辑工作。

国家环境保护局科技标准司

1997.4.7

前 言

水污染严重,水资源短缺,是当今全球水环境的热点问题。新中国成立近 50 年来,随着我国国民经济的发展,全国性的水环境污染日趋严重,水污染防治的迫切性日益突出。全国日排城市污水约 1 亿 m^3 以上,其处理率仅为 5%~6%,绝大多数未经处理的污水直接排入自然水体,是水污染严重的主要原因。

国外发达国家在战后几十年的水污染治理中经历了不断深化的过程。随着战后经济的恢复和飞速发展,水污染日益加剧。到 60 年代,在污水处理方面首先强调并普及传统的二级生化处理技术,但人们很快发现这一技术并不能从根本上解决污水中的 N 和 P 所引起的富营养化问题。进入 70 年代后,污水三级深度处理技术开始兴起,然而,由于这类技术能耗大、投资高,从而表现出技术上可行而经济上不合理的特征,即使在经济发达国家也往往是“建得起,转不起”。到了 70 年代后期,提出了“革新—替代技术”,积极寻求可替代三级处理的污水土地处理与氧化塘等自然处理技术。

自 80 年代初开始,我国环境科学工作者在国家环境保护局的支持与组织下,针对我国水污染防治的实际情况,积极研究并吸收美国和澳大利亚等国的先进经验,提出了采用土地处理替代二级处理并同时去除污水中 N、P 的技术路线。通过“六五”小试、“七五”中试和“八五”实用规模的联合攻关研究,寻求不同规模、不同类型、不同水质的土地处理工艺条件,确立了土地处理技术分类系统,建立了完整的技术体系,为在我国全面推行这一技术提供了技术支撑。

本指南是上述研究工作的总结,书中系统地介绍了土地处理系统的分类、技术特征、工艺条件、工程参数、场地信息、净化功能、

环境影响和运行管理。本指南从实际出发,力求文字简练,通俗易懂。书中还列出了许多图表,以便于读者参考。

作为我国第一本推行这一技术的指南,相信本书将会为推进我国水污染防治,实现污水处理无害化、资源化提供一定的技术支撑,但是,由于编者的水平所限,错误之处在所难免,敬请同行与专家批评指正。污水土地处理作为一项尚需不断完善的技术,必定会有不同的学术与技术观点存在,因此,还有待通过深入讨论与实践不断提高。

本指南由孙铁珩、周思毅主编,李培军、段振渤、郑学海为副主编,李宪法、张忠祥为顾问。具体编写分工为:周思毅(序言),李宪法(前言),孙铁珩(第一章),李培军(第二章),杨翠芬、孙铁珩(第三章),宋玉芳、杨桂芬(第四章),祁兵(第五章),段振渤(第六章、第七章),李万庆、郑学海、杨扬、许振成(第八章),常士俊(第九章),沈伟然(第十章),李培军、杨扬(第十一章),张忠祥(第十二章)。任丽萍、张海荣为全书书稿做了编辑加工和审校。

本书汇集了我国老、中、青科技工作者 15 年来在污水土地处理方面的辛勤工作成果,在编著过程中得到了有关方面领导与同行的支持和关心。在此,谨向为取得这一技术成果作出贡献、使本书得以问世的同行与专家致以深切的敬意。

目 录

第一章 总 论	(1)
一、无害化、资源化是我国城市污水处理的必由之路.....	(2)
二、污水土地处理系统的定义与分类	(4)
三、污水土地处理系统的主要特征	(4)
四、我国土地处理技术的发展趋势与战略	(6)
第二章 土地处理系统概述及工艺性能	(9)
一、土地处理工艺概述	(9)
二、慢速渗滤工艺.....	(14)
三、快速渗滤工艺.....	(16)
四、漫流工艺.....	(17)
五、污水湿地处理系统.....	(19)
六、地下渗滤系统.....	(20)
七、联合处理系统.....	(21)
第三章 土地处理系统的进出水水质要求	(22)
一、城市污水的组成.....	(22)
二、城市污水的水质与排放量.....	(22)
三、用于生化处理的污水水质指标.....	(25)
四、土地处理前的水质要求和预处理要求.....	(25)
五、土地处理系统的净化功能.....	(28)
六、不同用途的再生水回用水质要求.....	(32)
第四章 场地规划与场地调查	(34)
一、规划程序.....	(34)
二、第一阶段规划.....	(34)
三、第二阶段规划.....	(36)
四、场地物理性质调查.....	(37)

五、土壤的化学性质·····	(39)
六、场地的水力学性质调查·····	(40)
七、地下水·····	(43)
第五章 慢速渗滤土地处理系统 ·····	(46)
一、主体系统设计·····	(46)
二、贮存系统和终年运行·····	(54)
三、布水系统·····	(56)
四、排水系统·····	(59)
第六章 快速渗滤土地处理系统 ·····	(60)
一、工艺特性·····	(63)
二、预处理·····	(68)
三、RI 系统的工艺设计·····	(70)
四、RI 系统的布局设计·····	(74)
五、RI 系统的冬季运行·····	(77)
第七章 地表漫流系统 ·····	(79)
一、工艺特性·····	(79)
二、OF 系统的工艺设计·····	(79)
三、OF 系统的构成·····	(85)
第八章 湿地系统 ·····	(91)
一、类型与功能比较·····	(91)
二、自然湿地系统·····	(93)
三、构造湿地系统·····	(103)
第九章 地下渗滤系统 ·····	(114)
一、地下渗滤系统适用范围与参数·····	(116)
二、地下渗滤的预处理系统·····	(117)
三、地下渗滤的中水水质与回用·····	(119)
四、地下渗滤系统的系列化与设施化方向·····	(120)
五、“八五”示范工程简介·····	(120)
第十章 污泥土地处理与无害化利用 ·····	(128)
一、污泥预处理方法·····	(128)

二、污泥土地处理的类型	(130)
三、污泥土地处理设计及标准	(131)
四、我国污泥无害化利用途径	(136)
第十一章 土地处理的效益分析	(139)
一、土地处理效益分析方法	(139)
二、土地处理的费用函数	(142)
三、土地处理同常规处理的比较	(145)
四、土地处理的社会与环境效益	(146)
五、实用规模土地处理系统效益分析	(148)
第十二章、土地处理的环境影响与控制对策	(151)
一、对水体的影响	(151)
二、对作物的影响	(154)
三、对土壤的影响	(157)
四、对人体健康的影响	(160)
五、污染防治对策和措施	(162)

第一章 总 论

水体污染与水资源不足已成为当今重要的全球环境问题。随着社会进步与人类文明的不断发展,水在人类社会经济生活中的意义日益突出,从社会科学和自然科学两个方面,赋予水的内涵更加全面:

(1)随着人类生活质量的提高,人们不单单要求丰富的物质生活,而且要求有美好的自然环境与清新的生活空间。水作为人类环境要素的重要意义已经日益突出。“亲水文化”、“水边环境”已经成为人们修饰环境的重要内容。

(2)水作为人类赖以生存,社会赖以发展的要素,已经不再是天然水的内涵。水作为重要资源,由于参与社会的工农业生产活动,而具有以下特征:

①水已经在各个国家和地区作为资源而变得十分珍贵。水资源不足,水环境污染已经或正在成为某些国家和地区社会与经济发展的限制因素。

②各种不同用途水资源的获取以及对于污水的处理,需要花费日益昂贵的投资和技术,已成为各级政府沉重的经济负担。

③水环境污染日益严重,不同地区依其社会经济能力与环境意识,按其“人类健康”、“生态和谐”、“生活质量”等不同目的的不同水环境目标,制定相应的水污染防治技术经济政策,实施经济、有效的防治措施。

人类对于污水处理与水污染防治,经历了不同的认识与发展过程。传统的污水人工处理技术已有上百年的发展历史。活性污泥法污水处理技术已问世 60 多年,随着科学技术水平的不断提高,其供氧方式,工艺流程,工程参数不断改善,技术日趋成熟,已经在发达国家得到了普及,在水污染控制中起到了积极推动作用。

但是,单纯依靠传统的污水二级处理技术并不能够从根本上解决水污染问题,只可能延缓水污染的发展趋势。二级生物处理可有效地去除悬浮物(SS)和生化需氧量(BOD_5),但对 N、P 等营养物质的去除率较低(30%~50%),经处理后的出水排入自然水体将引起“富营养化”等环境问题。而三级深度处理可对水质进行深度处理,但其费用昂贵,一般难以推广。

我国政府自 1980 年以后,确立了根据我国国情与各地区自然和社会经济状况,实行人工处理与自然处理并行的技术政策。在吸收与改进发达国家传统的污水人工处理技术同时,积极推行替代二级处理的氧化塘、氧化沟和土地处理等自然处理技术。土地处理技术经过“七五”、“八五”联合科技攻关,实现了从小试、中试到实用规模的试验、示范研究;确立了完整的技术分类系统;明确了各种类型的工艺特征、技术要点与工程参数,为在我国推行这一技术提供了技术保证。

一、无害化、资源化是我国城市污水处理的必由之路

我国城市污水日排放量达 1 亿 m^3 ,其处理率不足 5%,大量未经处理的污水排入自然水体,引起水质污染,水生生态系统破坏。我国北方主要城市郊区,受到污水包围,带来了一系列水-土-粮的污染。如何解决中国的水污染,确立符合国情的污水处理技术体系,是我国各级政府十分关切的问题。

从美国近 30 年污水处理发展的历史沿革可以得到借鉴,从而确立我国污水处理的技术战略。美国 1973 年全国城市污水处理率为 50%,至 1992 年达到 83%。20 年间增长 34%,平均每年增长 1.7%。美国作为发达国家,1973 年以国民生产总值(GNP)的 0.8%,1985 年以 1.75% 资金,用于污水处理,取得了上述污水处理率的提高。

而中国,1949 年至今经历了近半个世纪,城市污水处理率仅达 5%~6%,期望在不到 10 年间的本世纪末,以中国较低 GNP

水平的 0.5%~0.6% 资金用作环境治理,使全国城市污水处理率达到 30% 的目标是十分困难的。仅以现在的污水量做一推算分析便可得知我国的经济承受能力是否可以实现这一目标。例如,若实现 30% 污水处理率,则意味着每日处理污水 3000 万 m^3 。如果按目前城市污水活性污泥传统技术的基建标准 1500 元/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 计,则 3000 m^3/d 的污水处理基建投资需 450 亿元,年运转费按基建投资的 10%~20% 计,则需每年 45~90 亿元。若以中等城市日排污水 10 万 m^3 计,则污水处理设施基建费为 1.5 亿元,年运转费 1500~3000 万元。如此投资强度,普通城市实难承担。因此,实施污水处理无害化、资源化,处理与利用相结合,人工处理与自然处理并行的技术政策,是完全必要和符合国情的。

具体而言,可以做以下两点理解:

(1)就污水水质而言,我国的城市污水基本上是生活污水与工业污水混合排放。其成分复杂多变,大体可以分为四类:

- ①特殊的有毒污染物:包括生物难降解的人工合成的有机毒物、某些重金属元素以及某些致病微生物和病毒等;
- ②营养物质,包括氮、磷、钾和某些微量元素;
- ③生物可降解的有机物;
- ④固体悬浮物。

对于第一类污染物应当最大限度地使污染源回收处理与利用,不能将其留待污水处理厂集中处理,更不可以将其排放自然水体。

对于其他二、三、四类污染物,进一步采取处理与利用相结合的方针,通过不同类型生态工程、土地处理工程,实现污水处理与中水资源开发、水肥资源利用相结合的目的。

(2)就污水量而言,大城市污水水量大,污水成分复杂,其市政经济承受能力强,应当以人工处理技术为主,实行集中处理;而中小城市污水水量小,污水成分简单,城市周围寻找可以用作土地处理的土地资源丰富,地价相对便宜,因此,应当和可以实施以自然处理技术为主的无害化、资源化污水处理政策。

二、污水土地处理系统的定义与分类

污水土地处理系统的简要定义可以解释为:污水有节制地投配到土地上,通过土壤-植物系统的物理的、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,促进绿色植物生长并获得增产。

污水土地处理作为系统工程而言,还必须包括对于污染源的有效控制,预处理工程,多样化的水力负荷调配的生态结构配置,以及对于承接水体的水质安全保护。

土地处理系统的分类是根据污水投配到土地上以后在土体中的流经路径,即上行、下行、左行、右行、快行、慢行的不同而分为快速渗滤、慢速渗滤、地表漫流、湿地处理与地下渗滤系统等五种类型。其中湿地处理系统不是依据水流路径而定名,主要是依据生态单元加以定名。而在湿地系统中又可分为快渗、慢渗、自由水面等不同方式。不同的土地处理类型具有不同的工艺条件、工程参数和场地信息要求,其主要特征如表 1-1 所示:

表 1-1 土地处理系统的工艺条件与工程参数

处理类型	水力负荷 (m)	土壤渗透 系数(m/d)	土层厚度 (m)	地下水位 (m)	地面坡度 (%)
慢速渗滤	0.6~6	0.036~0.36	>0.6	0.6~3	≤30
快速渗滤	6~150	0.36~0.6	>1.5	1.0	<15
地表漫流	3~21	≤0.12	>0.3	不限	<15
湿地系统	3~20	≤0.12	>0.3	不限	<2
地下渗滤	0.4~3	0.036~1.2	>0.6	>1.0	<15

三、污水土地处理系统的主要特征

土地处理技术是运用生态学原理加工程学方法而形成的生态

工程水处理技术。其生态学原理具体体现为对现代生态学的三项基本原则：整体优化、循环再生和区域分异的充分运用。

整体优化：一个完整的生态系统应当具有自身的应变性、调节功能以及系统间各组分的协调分工作用。污水土地处理是一项系统工程，其中包括点源控制、污水传输、预处理工程、布水工艺、生态结构配置及再生水的回收等。因此，土地处理系统工程的完整设计应该是一个整体优化过程。其最终表现为系统的净化功能充分发挥，水、肥资源的有效利用，承接水体不受污染三项指标的的实现。

循环再生：土地处理作为生态学处理方法，实际上是追求土壤和植物的“处理”与“利用”两个功能的总体实现。土壤被视为“活的过滤器”作为工程系统进行污水处理。污染物在这一系统中通过物理吸附、植物与微生物吸收、降解、物理的挥发、淋溶，化学的分解与转化等，其污染的水质变为相对的清洁，污染物由复杂的变为简单的，大分子变为小分子，植物不可利用变为可利用、吸收，进行不断更新和循环再生。然而，这一系列过程必须通过合理的工艺设计、水力负荷、污染负荷与同化容量的科学计算，保证系统终年的连续稳定运行，方可实现污染物的充分净化和水、肥资源的循环再生和有效利用。

区域分异：用于土地处理的场地，具有严格的区域分异特征。不是任何场地、任何土壤都可以实施土地处理技术。不同的土地处理类型，要求不同的土壤、气候、地形、地质、水文等场地条件。针对场地的区域特征，进行有区别的类型选择、工艺设计、作物结构配置和运行管理。

其工程学方法主要体现在：

- (1)有针对性的工艺选择；
- (2)科学的工程设计；
- (3)严格的工程实施；
- (4)合格的运行管理。

污水慢渗土地处理系统在某种意义上源于传统的污水灌溉，

但决不等于污水灌溉。土地处理技术已经发展为完整的水处理工程技术体系,必须从基本认识到具体做法,从理论与实践的结合上将两者加以区别,其主要区别之点有以下 4 方面:

(1)设计目标与利用方向:传统污水灌溉是一项农田水利工程,其主要目的是利用污水,提高作物产量,很少考虑系统的连续运行,用水则灌,不用则放。依作物不同物候期对水的需要而确定灌水时间与灌溉定额。而土地处理则强调处理与利用相结合,是一项污水处理工程,实行污水处理的终年连续运行。

(2)污染负荷控制:传统的污水灌溉是把污水作为水肥资源加以利用,只注意水质(mg/L)和水量。而土地处理则重视单位面积污染负荷与同化容量计算,从各项限制条件中求出最低限制因子作为确定水力负荷的设计参数。

(3)生态结构:传统污水灌溉通常是单一种植,而土地处理则应设计有多样化种植的生态结构,以便针对不同污染负荷设计,在不同种植单元上进行水力负荷的有效分配,保证系统在最佳状态下的连续运行。

(4)保护承接水体:经土地处理后的出水,作为中水资源,可以重复利用。可注入地下,可放流河系,可浇灌绿地、农田,也可冲洗车辆、街道和厕所。通常快速渗滤系统再生水的回收率可达 80%,慢速渗滤系统可达 30%,地下渗滤系统达 70%。其技术关键是保证土地处理系统的稳定、正常运行,保证有良好的净化水质,以保护承接水体不受二次污染。

四、我国土地处理技术的发展趋势与战略

我国政府环境保护部门,在寻求中国的水污染防治对策时,充分吸收、总结国外发达国家水污染防治的历史经验,提出了符合中国国情的“人工处理与自然处理并行”的水污染防治的技术政策。由于中国地域广阔,其自然条件与社会经济发展水平因区域不同而差异很大。因此,污水处理方案的确立,工艺条件与工程参数的

选择,都必须充分考虑技术的可能性和经济的合理性。通过国家“六五”、“七五”、“八五”科技联合攻关,污水土地处理通过小试、中试和实用化应用、推广三个阶段的系统研究,现在已经作为比较成熟的技术经济政策纳入到我国污水处理的技术规范。

根据污水土地处理技术特点以及我国国情,土地处理在我国的发展战略应当遵循以下几点原则:

(1)污水土地处理应从以处理为主要目的的“处理型”向以处理与利用相结合,或以利用为主要目的的“利用型”转移。

(2)在利用方式上,从具有食物链影响的食用作物利用方式向脱离食物链影响的经济作物利用方式转移。森林型或湿地型土地处理是利用方式的最佳选择。

(3)在水质类型上,重金属污水、放射性污水,传染病院污水等显然是不适宜用作土地处理,必须加以严格控制。而生活污水,食品发酵工业、酿造工业等有机污水,适用于土地处理用水。

(4)土地处理技术在欧美各国作为污水处理的革新/替代技术,用作代三级处理,而中国推行污水土地处理技术则用作代二级处理,因此,为了保证处理效果,保护再生水的承接水体免受二次污染,在水质要求、污染负荷与水力负荷设计、工艺条件与工程参数确定以及运行管理等方面,必须加以严格选择。

(5)在我国北方地区推行污水土地处理最主要的技术关键是终年连续运行的越冬技术。污水排放的连续性与生长季节土地处理的间断性在时间与空间分布上具有矛盾性。寻求冬季污水处理的连续运行是解决这一技术在北方地区普遍推广的关键问题。通过试验表明,因地制宜地选择以下某种方式是解决污水土地处理终年运行的可行措施。

①建立多样化生态结构水力负荷分配的调节系统。设计不同类型覆盖作物复合生态系统结构,例如:旱田与水田、农作物、经济作物、林地等。

②建立冬季冰下快速渗滤系统。在美国北部地区,土地处理系统冬季运行的可行方式是冰下快速渗滤技术。国家“七五”土地

处理攻关研究,在沈阳郊区也取得了这一技术试验成功。通过热力学的科学计算,确立合理的工艺条件,建立“冰桥”,恰当地掌握结冰与布水时间、布水深度是保证这一技术成功的关键。

③冬贮冬灌。选择自然坑塘、洼地和修建污水库,作为缓冲系统,实行冬贮,或者实施晚秋和早春冬灌,实现污水处理“冬贮夏用,闲水忙用”,有计划地实行污水量的全年水力分配。

④建立土地处理复合系统。在一个土地处理系统中,可以建立快渗-慢渗;快渗-慢渗-漫流;湿地-稳定塘等不同组合复合处理系统,可以提高土地处理的净化功能,并且可以实行水力负荷的科学分配。

第二章 土地处理系统概述及工艺性能

一、土地处理工艺概述

在我国,经过长期的研究与实践,污水土地处理系统已经发展成为一种建设与运行费用低、适应范围广、次生环境影响小、再生水水质优良的新型水处理技术。根据水力负荷、污水路径、布水方式、土壤-植物系统结构以及再生水收集方法,可分为慢速、快速、漫流、湿地、地下渗滤等主要类型。

污水土地处理系统属于生态环境工程范畴,可划分为若干子系统,每一子系统均具有相对独立的结构与功能。一般说来,土地处理系统应包括收集、预处理、贮存与调节、配水与布水、土壤-植物、再生水收集与回用以及监测等七个部分。

1. 收集系统

收集系统的功能不仅仅是收集并提供土地处理系统污水,也包括了对污水来源的识别。当工业废水中含有下列物质时,应在工厂内进行点源控制:

- (1)对土地处理工艺过程有妨碍的物质;
- (2)在土壤-植物系统中有积累的有害物质;
- (3)妨碍再生水利用,或对地下水有危害的物质。

在我国,由于大部分城市均实行生活污水与工业废水混合排放,对于工业点源的识别与控制往往成为土地处理成功的关键。实践证明,对于有机工业废水采用 $\text{TOC}/\text{BOD}_5 < 0.8$ 的控制标准是一种简单而有效的方法。

2. 预处理

一般说来,各种土地处理类型均需考虑预处理措施。预处理