

国家“八五”科技攻关

环境保护项目技术集成系列丛书

城市污水稳定塘处理技术指南

国家环境保护局科技标准司 编

中国环境科学出版社

·北京·

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,部分城市和环境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

60年代以后,由于工业发展、能源紧张、人口增加等多方面原因,污水人工净化技术的发展遇到一些困难。经过长期实践,稳定塘处理工艺表现出基建投资省、运行管理费用低、操作简单、节约能源等优点,从而作为“代用技术”而重新得到重视,30年来在世界范围得到复兴和发展。

80年代以来,我国稳定塘处理技术发展较快,应用范围也更加广泛。“七五”、“八五”计划期间,稳定塘课题均被列入国家重点科技攻关项目,取得一批重要的科研成果。本书在对稳定塘处理工艺、塘的设计、应用和运行管理进行实用性介绍的基础上,注意反映“七五”、“八五”科技攻关的重要科研成果、生产和试验数据以及新观点、新技术,期望通过科技攻关,使稳定塘技术向科学化、规范化、系统化方向再迈进一大步,让古老的稳定塘焕发出新的活力,为我国现代化建设发挥更大作用。

本书共分九章。按内容次序编写者分别为:第一章荆一凤;第二章向连城;第三章吴卓;第四章李俊奇、吴俊奇;第五章边嘉敏、胡必彬、江有才、金中;第六章曹秀芹;第七章汪慧贞;第八章边嘉敏、金中、胡必彬;第九章荆一凤。全书由李献文任主编,荆一凤任副主编,由宋爱民整理打印和文字处理。

根据需要,在本书一些章节中,引用了“七五”、“八五”科技攻关中的部分技术资料,特此向资料作者致谢。

由于水平所限,错误和不妥之处难免,敬请读者不吝指正。

编 者

1996.12

目 录

第一章 绪 论	(1)
一、工艺原理	(1)
二、稳定塘分类	(4)
三、国内外发展概况	(5)
第二章 稳定塘系统设计	(9)
一、设计基础资料	(9)
二、进出水水质标准	(10)
三、塘系统及其优化	(12)
四、预处理	(17)
五、选址及总平面图	(21)
六、高程设计及流程纵断面图	(24)
七、技术经济分析	(26)
第三章 各类稳定塘工艺设计	(31)
一、厌氧塘	(31)
二、兼性塘	(36)
三、发氧塘	(42)
四、曝气塘	(45)
五、深度处理塘	(51)
六、控制出水塘	(53)
七、储留塘	(58)
第四章 塘体及附属设施	(60)
一、塘体设计	(60)
二、防渗设计	(64)
三、附属设施	(67)
第五章 塘系统节能及综合利用	(70)

一、风能曝气·····	(70)
二、季节性间歇曝气·····	(73)
三、综合生物塘·····	(76)
四、水生植物利用·····	(79)
第六章 稳定塘计算机辅助设计(CAD) ·····	(85)
一、稳定塘 CAD 硬件 ·····	(85)
二、稳定塘 CAD 程序设计 ·····	(86)
三、稳定塘 CAD 工程制图 ·····	(90)
四、稳定塘工程数据库·····	(92)
五、稳定塘工程的人工智能·····	(93)
六、稳定塘软件开发·····	(98)
第七章 新型稳定塘实用技术 ·····	(100)
一、新型曝气塘 ·····	(100)
二、超深厌氧塘 ·····	(104)
三、活性藻系统 ·····	(108)
四、移动式曝气器曝气塘 ·····	(112)
第八章 国内应用实例 ·····	(115)
一、天津汉沽稳定塘 ·····	(115)
二、深圳布吉塘 ·····	(120)
三、齐齐哈尔塘 ·····	(123)
四、鄂州鸭儿湖塘 ·····	(125)
第九章 稳定塘运行管理规程 ·····	(129)
一、日常运行 ·····	(129)
二、采样及水质测定 ·····	(131)
三、季节性管理 ·····	(132)
四、设施维护 ·····	(134)
五、超负荷应急措施 ·····	(135)
六、环境影响及对策 ·····	(137)
七、安全生产与绿化 ·····	(138)
参考文献 ·····	(139)

第一章 绪 论

一、工艺原理

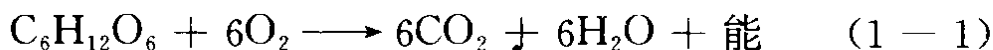
污水稳定塘属于生物处理设施,稳定塘又称氧化塘。稳定塘净化污水的原理与自然水域的自净机理十分相似,污水在塘内滞留的过程中,水中的有机物通过好氧微生物的代谢活动被氧化,或经过厌氧微生物的分解而达到稳定化的目的。好氧微生物代谢所需的溶解氧由塘表面的大气复氧作用以及藻类的光合作用提供,也可通过人工曝气供氧。

1. 稳定塘生态系统

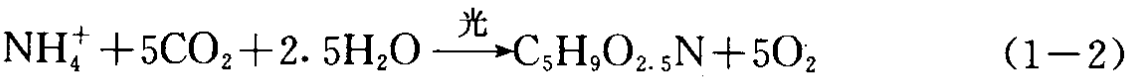
稳定塘生态系统由生物及非生物两部分构成。稳定塘生态系统的生物部分主要有细菌、藻类、原生动物、后生动物、水生植物以及高等水生动物。稳定塘生态系统的非生物部分主要包括光照、风力、温度、有机负荷、pH 值、溶解氧、二氧化碳、氮及磷营养元素等。

细菌与藻类的共生关系构成稳定塘的重要生态特征。在光照及温度适宜的条件下,藻类利用二氧化碳、无机营养和水,通过光合作用合成藻类细胞并放氧。异养菌利用溶解在水中的氧降解有机质,生成 CO_2 、 NH_3 、 H_2O 等,又成为藻类合成的原料,其结果是污水中溶解性有机物逐渐减少,藻类细胞和惰性生物残渣逐渐增加并随水排出。

细菌对有机物(以葡萄糖作为代表)的反应式为:



藻类光合作用可表示为:



在稳定塘中,细菌和藻类是浮游动物的食料,而浮游动物又被鱼类吞食,高等水生动物也可直接以大型藻类和水生植物为饲料,形成多条食物链,构成稳定塘中各种生物相互依存、相互制约的复杂的生态体系。

稳定塘生态系统的非生物组成部分亦即环境因子的作用也是不可忽视的。光照影响藻类的生长及水中溶解氧的变化,温度影响微生物的生物代谢作用,有机负荷则对塘内细菌的繁殖及氧、二氧化碳含量产生影响,pH、营养元素等其他因子也可能成为制约因素,各项环境因子相互联系,多重作用,构成稳定塘的生态循环。

典型稳定塘生态系统见图 1-1。

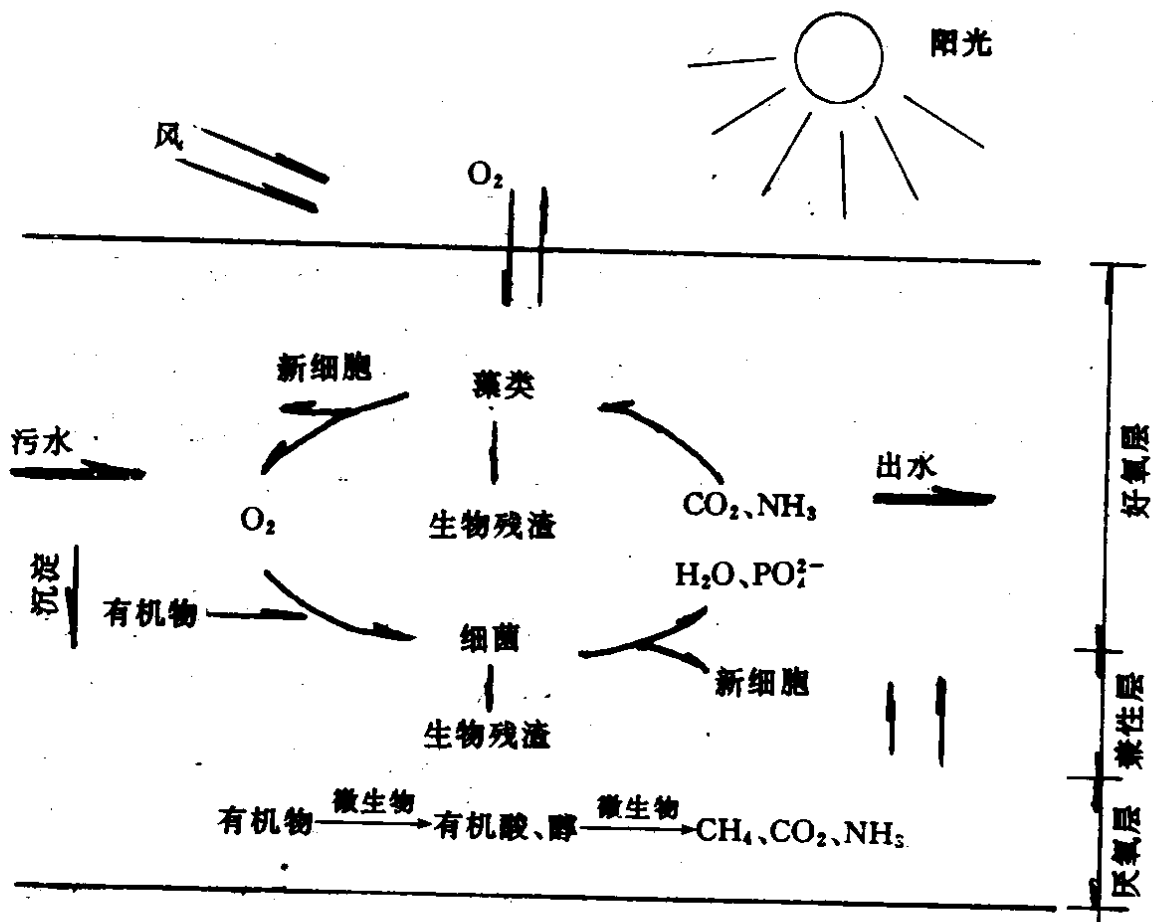


图 1-1 典型稳定塘生态系统

2. 稳定塘中物质的迁移转化

稳定塘是比较复杂的半人工生态系统,塘中物质转移过程受生物代谢及环境因素的影响和制约。在稳定塘中与污水净化关系最密切的是碳、氮、磷的转化和循环。

“七五”期间曾对稳定塘内碳、氮、磷的转化规律设专题研究,在试验的基础上建立了稳定塘内碳、氮、磷营养物质转移规律的生态学模型,根据模型计算得到的稳定塘内物质转移平衡图的分析表明:

(1)塘内碳元素的转移量与有机碳的去除量密切相关,碳元素转移通量大时有机碳的去除率相应也大。

(2)生物稳定塘的工作机理主要体现为菌藻的协同工作及氧和二氧化碳的授受平衡,污水中溶解性有机碳转移的最后归宿主要是形成藻体。

(3)氮、磷的去除主要靠生物同化完成。由于生物同化能力有限,不能期望生物稳定塘有太高的氮、磷去除能力。

(4)藻类是最大的碳、氮、磷营养元素储存源。生物稳定塘系统应把除藻视为重要的后处理工作,同时应考虑藻的利用方法。

3. 稳定塘的供氧

稳定塘中各类生物需要的氧来自大气臭氧和藻类光合作用放氧。除曝气塘外,各类稳定塘一般无须人工充氧。传统观点认为,藻类是稳定塘中氧的主要供应者,而大气复氧往往未被重视。

“八五”期间,对稳定塘的供氧进行了分析研究,对氧的传递进行了定量计算。研究认为,稳定塘中微生物将有机物分解为无机物,如 CH_4 、 CO_2 、 NH_3 等,这部分无机物中的相当部分可以经过气水界面排到大气中,但由于藻类光合作用又将其其中的一部分重新转化为藻类有机体的形式,增加了营养物质在稳定塘中的循环。藻类死亡时体内有机物大部分被分解,其分解过程仍需耗氧。因此,当塘系统无除藻措施时,藻类实际提供的氧量只相当藻类死亡后

其体内不能被降解的那部分有机物在合成过程时的放氧量。另一方面,藻类在稳定塘污水处理中可以使塘在一个时间段和某个局部范围内具有高溶解氧值,有时甚至达过饱和状态,为有机物的降解提供了氧,但在上述时间段和局部范围内,水中溶解氧的提高阻碍了大气复氧的正常进行,减少了大气复氧量。

定量计算的结果支持了上述观点。对华中地区某稳定塘两年运行数据计算的结果为:该稳定塘大气复氧传质速率为 $9.64\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,两年运行期间由大气复氧所提供的氧总量为 6193kg 。在全部去除的 20643kg COD 中,60%的 COD 由厌氧反应去除,30%的 COD 由大气供氧的好氧反应去除,而仅有 10%的 COD 是由藻类供氧的好氧反应去除的,也就是说,大气复氧量与藻类实际供氧量之比为 3 : 1。

对稳定塘供氧进行定量分析的研究结果在工程上的意义为:

(1)提高大气复氧量是加强稳定塘供氧能力的关键。在设计中,应对稳定塘的深度和塘型作合理安排,充分发挥大气复氧作用,可增加少量动力设施,使塘中水体处于更充分的流动状态,加速氧的转移,也可设计植物塘,利用植物(如芦苇)茎的传氧能力,提高复氧效果。

(2)除藻是提高稳定塘出水效果的有力措施。藻类是有机物,无论在塘内还是随出水进入受纳水体,均会继续降解、耗氧。应像常规二级污水处理厂对剩余污泥进行分离去除一样,将藻类从出水中分离出来处置或利用,提高稳定塘的实际处理效果。

二、稳定塘分类

稳定塘是对各种类型污水处理塘的总称。按塘内充氧状况和微生物优势群体,将稳定塘分为好氧塘、兼性塘、厌氧塘和曝气塘 4 种类型。根据处理后达到的水质要求,污水稳定塘又可分为常规处理塘和深度处理塘。除利用菌藻外,还利用水生植物和水生动物处理污水的稳定塘称为生物塘或生态塘。此外,按照稳定塘出水的

连续性和出水量,可以把塘分为连续出水塘和储存塘。分述如下:

好氧塘——塘水在有氧状态下净化污水的稳定塘。

厌氧塘——塘水在无氧状态下净化污水的稳定塘。

兼性塘——塘水在上层有氧、下层无氧状态下净化污水的稳定塘。

曝气塘——设有曝气充氧设备的好氧塘或兼性塘。

生物塘——具有菌、藻和人工种植水生植物或养殖水生动物的稳定塘。

水生植物塘——种植水生维管束植物或高等水生植物的稳定塘。

养鱼塘——利用养殖鱼类,摄食水中藻类等各类水生生物,达到净化污水、回收资源、获得经济效益的稳定塘。

常规处理塘——作为二级处理设施的稳定塘系统,称为常规处理塘。

深度处理塘——亦称熟化塘、通常作为塘系统中的最后一级,接纳兼性塘或曝气塘出水,或设置在常规二级处理设施之后,作进一步净化 BOD_5 、病原菌和去除部分氮、磷之用。

控制出水塘——为解决超过受纳水体自净容量允许的塘排水问题而设计的可调控排放的稳定塘。

完全储存塘——污水储存而不外排,仅靠蒸发减少容量的稳定塘。

三、国内外发展概况

1. 简 述

稳定塘污水处理具有悠久的历史。美国第一个有记录的塘系统是 1901 年在得克萨斯州的圣安东尼奥市修建的。1920 年德国慕尼黑市建造了欧洲最早并且至今仍在运行的稳定塘。世界最大的沃尔比稳定塘,1928 年在澳大利亚墨尔本市投入使用。其后由

于人工净化技术的发展及稳定塘存在占地过大、产生气味等原因,该项技术的发展在一段时间内进入低谷。

60年代以后,由于工业发展、能源紧张、人口增多等方面原因,常规生物处理方法遇到了各种困难。经过长期的实践,稳定塘处理工艺表现出基建投资省、运转管理费用低、操作简易、效果可靠、节约能源等显著优点,从而作为“革新——替代技术”之一而重新得到重视,30年来得到复兴和发展。美国的稳定塘总数达7000座,德国有2000多座稳定塘,法国已建成1500座稳定塘。在前苏联地区,稳定塘已成为小城镇污水处理的主要方法。印度、巴基斯坦、马来西亚、泰国、以色列、约旦、沙特阿拉伯、也门等国家的稳定塘处理工艺的应用也日益广泛。

2. 我国稳定塘发展的沿革

50年代末,我国开始进行稳定塘处理污水的试验研究。从60年代起,陆续建成一批污水塘库。80~90年代是我国稳定塘处理技术迅速发展的时期。据统计,1985年我国有稳定塘30余座,1988年发展到80余座,90年代后发展到120座左右,这些已建成并投入运行的稳定塘几乎遍及全国各个地区。

1984年国家环保局组织了“全国氧化塘协作组”,开展了全国氧化塘的现状调查,召开了四次全国氧化塘技术交流会,举办了两期氧化塘技术培训班,对普及和提高我国氧化塘技术水平作出了贡献。

“七五”、“八五”两个五年计划期间,国家均将城市污水稳定塘处理技术列入国家重点科技攻关项目,并被列入20项成套技术之一,作为科技攻关的重点给予支持。

“七五”期间,在全国建立了9个中试基地,取得2~3年连续运行数据,为我国各地区稳定塘的设计、运行积累了第一手资料。在试验的基础上,提出了稳定塘的水力特性、净化机理及物质转移规律,不同地区各类稳定塘及其组合流程的设计方法,稳定塘计算机辅助设计及试验技术方面的研究成果。

“八五”期间,将“七五”攻关研究成果在生产性工程上进行验证和完善,并重视解决稳定塘应用中的实际问题,挖掘节能高效及自然能源利用的潜力,提出了稳定塘氧转移规律、污泥沉积降解规律、预处理、风能曝气及凤眼莲综合利用方面的研究成果。同时,在稳定塘实用新技术方面开展了新型曝气塘、超深厌氧塘、活性藻系统、移动式曝气器曝气塘以及稳定塘计算机辅助设计和人工智能等研究,取得最新研究成果。

“七五”、“八五”稳定塘科技攻关研究为在我国发展低投资、低能源的污水稳定塘处理技术提供了适用条件和实用技术,使稳定塘技术向规范化、系统化、资源化方向迈进了一大步。

3. 近代稳定塘发展特点

近代污水处理技术的发展推动了稳定塘技术在传统模式上的多方面突破,近代稳定塘技术的发展表现出以下特点:

(1)由直接利用天然坑塘洼地稍加修整发展为规范化的处理设施。现代的稳定塘一般都经过正规设计,不仅重视作为工艺主单元的塘体设计,而且配备包括预处理、附属设备等其他常规设施。如英国 Balfour 工程咨询公司 1993 年为巴基斯坦一稳定塘做设计采用了机械格栅、4 个沉砂池和几十个串并联组合的矩形沉淀塘作为预处理设施,有些稳定塘系统的沉砂池配备有现代化的洗砂间。

(2)由传统塘型发展为各种节能、高效的新型塘及其组合系统。稳定塘传统塘型与天然湖塘形状基本相似,一般为 0.5~4m 深规则或不规则形状的池塘。近年来出现了各种引人注目的新塘型,如英国 Mara 等人研究的超深厌氧塘达 15m 深,不仅缩小塘的占地面积,而且具有环境条件变化影响减小、改善厌氧微生物的生存条件、提高处理效果等诸多优点。美国加利福尼亚大学 Oswald 教授推出的高级综合塘系统 AIPS(Advanced Integrated Ponding System),将厌氧坑置于兼性塘底部,再与高负荷塘串联,构成高效率、低能耗的新型塘系统。

(3)由单纯依靠自然净化发展为自然净化与人工强化技术相结合的工艺形式。为了节省占地、提高处理效果,人们在稳定塘中采用了曝气、安装填料、种植水生植物、人工培养菌藻等各种强化措施。美国堪萨斯大学的 McKinney 教授等人将人工培养的高效菌藻共生体系“活性藻”应用于稳定塘,获得成功。美国加利福尼亚州圣迭戈(San Diego)市的凤眼莲与水草水生植物塘停留时间仅 4 天,占地为 $3.2\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。加的夫(Cardiff)市的太阳能水生植物塘系统采用曝气、种植水生植物、布设软填料、架设聚乙烯充气薄膜顶盖等复合措施,使占地缩小到 $1.5\text{m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,相当或低于活性污泥法占地指标。

(4)由仅有净化功能的污水处理设施发展为具有多种功能、综合利用的良性生态系统。人们充分利用稳定塘菌藻系统及生物自然净化的特点,将污水处理与水生植物种植、水生动物养殖、水资源利用、藻类回收等多种综合利用形式相结合,形成低投入、高产出的运行系统。AIPS 高级综合塘系统是这方面的典型,该系统不仅使污染物得到高效去除,出水可用于地下水补给、饲料作物灌溉、高尔夫球场及湿地栖息场所维持,还可将回收的藻类作为高蛋白补充饲料和肥料。我国在稳定塘凤眼莲利用及后续塘发展养殖业方面也取得突破,积累了宝贵的经验。

第二章 稳定塘系统设计

一、设计基础资料

1. 设计任务和方向

- (1)设计项目和设计范围；
- (2)城区、区域或工矿总体规划及现状；
- (3)城市、区域或工矿环境规划及现状；
- (4)污水水质、水量和排放规律的资料；
- (5)污水经处理后排放、回用或综合利用方面的资料；
- (6)环保及相关部门对项目要求。

2. 图纸及测量资料

- (1)地形图。稳定塘服务区域的地形图(1 : 5000~1 : 25000),
稳定塘所在场地地形图(1 : 500~1 : 5000)。
- (2)管道图。排水管网或排水管道图。

3. 水文气象资料

- (1)气温、气压、温度及其变化；
- (2)风向、风速资料；
- (3)蒸发量；
- (4)日照时数及强度；
- (5)历年暴雨资料及当地暴雨强度公式；
- (6)河道洪水位、洪流量及其枯水位、枯流量,水位流量关系曲线,潮汐及冰冻资料；

(7)地区水文计算手册。

4. 水文地质及工程地质资料

(1)地下水位、高程,地下水坡降、流速、流向;

(2)含水层渗透系数、影响半径、补给条件,地下水与地面水互补情况及地下水利用情况;

(3)地下水的物理化学性质;

(4)土壤分布,土壤的物理力学性质,包括土壤颗粒组成、比重、容重、孔隙比、相对密度、含水量、渗透系数等;

(5)稳定塘场址的地质钻孔柱状图、地基的承载力;

(6)地震等级、地震烈度、地震断裂带、滑坡、陷落段资料。

5. 其他资料

(1)有关当地建筑材料、设备的供应情况和价格;

(2)有关施工力量(技术水平、设备、劳动力)的资料;

(3)有关租地、征地、青苗补偿、拆迁补偿等资料。

二、进出水水质标准

1. 进水水质标准

污水稳定塘接纳污水时,城市污水按 CJ18—86 规定的污水排入城市下水道水质标准(表 2-1)。工业废水参考各行业的排水标准。

2. 出水水质标准

根据污水净化的目标,稳定塘处理后的出水去向包括:进入附近天然水体,供农田作灌溉用水,作为渔业养殖用水,回用于工业等。

当污水经稳定塘处理后排放到天然水体时,其水质必须符合

我国《污水综合排放标准》(GB 8978—88)及《地面水环境质量标准》(GB 3838—88)中的要求,根据所在地的区划,执行相应标准。同时,稳定塘处理后的排放水还应满足当地根据具体情况制订的地方标准。

表 2-1 稳定塘进水水质标准

(单位:mg/L(除水温、pH 值及易沉固体))

序号	项目名称	最高允许 浓 度	序号	项目名称	最高允许 浓 度
1	pH 值	6~9	16	氰化物	15
2	悬浮物	400	17	汞及其无机化合物	0.05
3	易沉固体	2/3ml/ (L·min)	18	镉及其无机化合物	0.1
4	油脂	100	19	铅及其无机化合物	1
5	矿物油类	20	20	铜及其无机化合物	1
6	苯系物	2.5	21	锌及其无机化合物	5
7	氰化物	0.5	22	镍及其无机化合物	2
8	硫化物	1	23	锰及其无机化合物	2
9	挥发性酚	1	24	铁及其无机化合物	10
10	温度	35℃	25	铈及其无机化合物	1
11	生化需氧量(5d,20℃)	300	26	六价铬无机化合物	0.5
12	化学耗氧量(重铬酸钾法)	500	27	三价铬无机化合物	3
13	溶解性固体	2000	28	硼及其无机化合物	1
14	有机磷	0.5	29	硒及其无机化合物	2
15	苯胺	3	30	砷及其无机化合物	0.5

当污水经稳定塘处理后用于农田灌溉时,其水质必须符合《农