

浮动生物床/地下渗滤联合工艺处理 校园污水的设计与管理

李英华^{1,2} 王书文¹ 孙铁珩¹ 邹轶¹ 贾宏宇³

(1. 沈阳大学沈阳环境工程重点实验室, 沈阳 110044; 2. 东北大学资源与土木工程学院, 沈阳 110004;
3. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

摘 要 结合沈阳师范大学的校园污水处理实例, 阐明地下渗滤与浮动生物床联合工艺的设计和运营管理的问题。实践证明, 采用浮动生物床/地下渗滤工艺对生活污水进行深度处理, 投资运行费用低、管理简单、出水水质稳定且优于所要求的回用水水质。

关键词 地下渗滤 浮动生物床 校园污水

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2007)03-0030-06

Design and management of floating bio-bed/subsurface infiltration system for campus sewage treatment

Li Yinghua^{1,2} Wang Shuwen¹ Sun Tieheng¹ Zou Yi¹ Jia Hongyu³

(1. Shenyang Key Laboratory of Environmental Engineering, Shenyang University, Shenyang 110044;
2. College of Resource and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004;
3. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016)

Abstract The study illuminated the design and management of floating bio-bed/subsurface infiltration system, exemplified by the campus sewage of Shenyang Normal University. The result shows that the coupling technology is economic in construction and operation; simple in management and stable in effluent quality which is superior to the requirement for the reuse water quality.

Key words subsurface infiltration system; floating bio-bed; campus sewage

据统计,我国目前有300多个城市缺水,其中100多个城市严重缺水。全国城市平均日缺水量达1600万 m^3 ,相当于总供水能力的8.3%。城市水资源短缺已严重影响了城市的可持续发展,影响到城市居民生活质量的不断提高^[1]。

沈阳师范大学日排放800 m^3 污水,下游受纳水体蒲河是辽河流域的一个重要支流,是下游乡镇的饮用水水源、渔业养殖和风景游览区,被列为国家水源保护三类水体。因此,沈阳师范大学校园污水必须实现回用与零排放。

沈阳师范大学校园污水回用工程充分利用自然生态系统的净化功能,再生水用于冲洗车辆和灌溉绿地,并可以补充校园人工湖景观用水。具有污水处理和资源化利用、生态景观建设和生态环境示范多重功能。本项目的实施,对于营造亲水文化氛围,加强沈阳市生态文化建设,具有十分重要的意义。其设计原则为:

(1) 污水处理回用工程要实现零排放,处理后的水达到回用标准,可作为绿化和环境用水,同时也可处理部分高质量的回用水,用于喷洒路面、冲洗车辆、消防备用和采暖补充水。

(2) 处理工艺必须是技术先进,稳定可靠,出水水质好,达标率高,基建投资和运行费用低,便于操作管理,主体工程要求地埋式,减少臭气影响。

(3) 污水处理工程的总体布置要和校园环境相协调,地面控制和操作部分的建筑要美观大方,设计要景观化。

基金项目: 辽宁省教育厅攻关计划资助项目(05L264); 辽宁省陆地生态过程重点实验室开放基金资助项目

收稿日期: 2006-07-25; **修订日期:** 2006-11-13

作者简介: 李英华(1979~),女,硕士,助教,主要从事污水生态处理与资源化技术的研究工作。E-mail: liyinghua@syu.edu.cn

(4)在操作管理上要体现科学管理,电脑调控,工艺过程和设备运行过程电脑显示,事故报警及主要处理参数瞬时监测,可随时输入调出及时掌握运行和水质状况。

(5)本工程必须符合《国家综合污水排放标准》(GB8978-1996)、《生活杂用水水质标准》(CJ25.1-1989)和《沈阳市污水处理中水回用标准》(沈阳市自来水总公司,1998年)。

1 水量及水质

本设计方案处理的对象是沈阳师范大学教学区教

学楼综合废水,重点超标项目有COD、BOD₅、SS、NH₃-N和TP,早晚各2h为用水高峰。水量计算如下:

教学区预计年用水量为30 000 m³/d,其中基建和绿化用水按30%计,形成污水按80%计,则污水总量大约为:300 000/365 × (1 - 30%) × 80% = 460 m³/d。考虑到今后发展规模的扩大,设计污水量取800 m³/d或40 m³/h。

COD:重铬酸钾法;BOD₅:稀释与接种法;NH₃-N:纳氏试剂比色法;SS:重量法;pH:玻璃电极法;TP:钼锑抗分光光度法;TN:过硫酸钾氧化紫外分光光度法。

表1 生活污水水质

Table 1 Sewage quality of Shenyang Normal University

	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	SS (mg/L)	pH	TP (mg/L)	TN (mg/L)
原水	100 ~ 390	50 ~ 180	13 ~ 25	60 ~ 150	6.5 ~ 8.5	5 ~ 8	20 ~ 30
城市杂用水水质标准 (CJ25.1-1989)	≤50	≤10	≤20	≤10	6.5 ~ 9	-	-
污水综合排放标准 一级标准	≤60	≤20	≤15	≤20	6 ~ 9	≤0.5	-
(GB8979-1996) 二级标准	≤120	≤30	≤25	≤30	6 ~ 9	≤0.5	-

2 工艺流程

2.1 二级处理工艺确定

校园污水是属小区生活污水一类,在远离城市直接排入河流的情况下,要去除有机物和悬浮物,同时要进行脱氮除磷处理,采用A/A/O工艺(厌氧、缺氧、好氧生化处理工艺)。厌氧、缺氧、好氧3种不同的环境条件和不同种类微生物菌群的有机配合,同时具有去除有机物、脱氮除磷的功能。在同时脱氮除磷的工艺中,该工艺流程最为简单,总的水力停留时间也少于同类其他工艺。且在厌氧、缺氧、好氧交替运行条件下,丝状菌不会大量繁殖,SVI小于100,污泥沉降性好。

对于好氧处理段,有生物接触氧化法和活性污泥法等可供选择,对于小型污水处理站,日处理在1000 m³以下的,则多采用生物接触氧化法,即在生化池中放置塑料蜂窝、软性填料等,利用填料上的生物膜来降解水中的有机物。较高的微生物浓度使得有机负荷大为提高;生物相当丰富,形成了稳定的生

态系统;采用人工曝气,增加了生物活性;设置滤料后提高了氧的利用率。

近年来,我国从欧洲引进了比上述方法更先进的生物膜处理方法,称为浮动生物床工艺。浮动生物床是融合了传统流化床和生物接触氧化法两者的优点而形成的一种高效的污水处理方法,它将密度接近水的悬浮填料直接投加到曝气池中作为微生物的活性载体,依靠曝气池内的曝气和水流作用使其处于流化状态,让污水与填料上的生物膜充分接触,从而大大提高了微生物的活性和负荷量,使生物反应时间从6 ~ 8 h缩短至3 ~ 4 h,不仅减少了容积,还大大提高了达标率和抗冲击性能,使处理的水质指标好而稳定(表2)。该工艺在北欧国家尤其是挪威,已应用在城市污水处理以及造纸、食品等工业废水的处理上,在去除污水中的有机污染物以及脱氮除磷方面都取得了令人满意的效果^[2]。因此,本工程中二级处理阶段采用浮动生物床工艺,根据污水污染负荷的变化情况调节曝气量与曝气时间。

表2 二级处理工艺技术经济指标对比(以 $500 \text{ m}^3/\text{d}$ 为例)

Table 2 Comparison of secondary systems

主要指标		接触氧化工艺	浮动生物床工艺
出水水质	COD(mg/L)	100	60
	BOD ₅ (mg/L)	20	20
	NH ₃ -N(mg/L)	20	15
	SS(mg/L)	40	40
建筑物和设备		两段接触氧化,构筑物体积 积小,设备较少	构筑物一体化,体积小, 设备少而简单
运行和管理	自控水平	一般	一般
	操作管理	不复杂	简便
	出水达标	80% ~ 85%	90%
投资和运行费用	填料清洗	定期清洗	载体不需清洗
	基建费用	约 1200 元/ m^3	约 1000 元/ m^3
	运行费用 ^[3]	0.28 元/ m^3	0.18 元/ m^3
占地情况		主体工程地上	地下

2.2 深度处理工艺确定

污水要达到回用水质标准和城市杂用水水质标准,尚需经过深度处理。浮动生物床法与一些物理、化学方法相结合,应用于要求深度处理的小型污水处理厂已有应用实例,挪威采用的悬浮填料生物接触氧化法/化学沉淀法是结合较好的一类工艺,在 Steinshilt 污水处理厂运行中效果较好^[4]。深度处理的方法一般有混凝-沉淀-过滤、混凝-澄清-过滤、气浮-过滤和土地处理。

前3种工艺尽管处理效果好,但投药量较大,如以商品浓度的工业硫酸铝计算,投加量往往需要 $50 \sim 100 \text{ mg/L}$,而且需要庞大的地上建筑,增加投资和运行费用的同时产生大量的含水率很高(可达 99.3%)的污泥,这种污泥处理较难^[1]。土地处理经过几年实践证明,运行费用少,出水水质好,管理简单,地上建筑物少。

地下渗滤技术(subsurface infiltration system, SIS)是土地处理的一种类型,是基于生态学原理,揉进现代的厌氧、好氧的污水处理技术而形成的一种生态工程技术。其基本原理是:生活污水经过二级处理后,采用在土壤亚表面布水的方式投配到具有一定构造和良好扩散性能的土层中。污水首先均匀

地向厌氧滤层渗滤,再通过表面张力作用上升,越过厌氧滤层出口堰之后,通过虹吸作用连续地向上层好氧滤层渗滤。在上述过程中,水与污染物分离,水被渗滤并通过集水管道收集;污染物通过物理化学吸附被截留在土壤中;碳和氮一部分被分解成为无机碳、无机氮留在土壤中,另一部分变成氮气和二氧化碳逸散在空气中;磷则被土壤物理化学吸附,截留在土壤中,为草坪或者其他植物所利用^[3]。

2.2.1 技术适用性分析

使用地下渗滤处理系统可以充分节约资源和发挥处理设施的效用^[5],从工艺上分析主要有如下几点原因:(1)这一校区土地具有一定可支配的绿地面积;(2)地下渗滤系统的运行维护所需的技术水平较低;(3)处理出水可达到回用水的标准,保护了水资源;(4)使用寿命较长,一般为 25 年以上^[6]。

2.2.2 经济适用性分析

地下渗滤系统管理简单,省去了在地面上分布较散的污水处理设施所需的管理维护费用。

综合以上,在本工程中采用浮动生物床-土地渗滤工艺(图1)处理沈阳师范大学校园污水,并将处理后的污水回用于绿化和冲洗等方面。

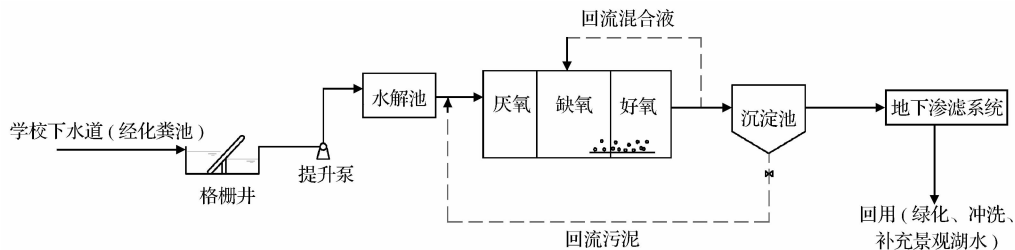


图1 工艺流程图

Fig. 1 Process flow chart

3 主要处理单元设计

3.1 水解池

水解池为一地下钢筋混凝土构筑物,容积为 $4\text{ m} \times 2\text{ m} \times 3\text{ m} = 24\text{ m}^3$ 水池。污水经格栅,提升泵进入水解池,水解池借助回流的活性污泥,在厌氧条件下,将污水中的油脂和蛋白质等难降解的大分子有机物水解为易降解的小分子(如脂肪酸或氨氮等);将不溶性悬浮物溶解,从而提高污水的可生化性,降低悬浮物的含量。该池还具有水力调节作用。

3.2 浮动生物床

A/A/O 为地下构筑物,容积为 $4\text{ m} \times 6\text{ m} \times 3.5\text{ m} = 84\text{ m}^3$ 水池,划分为4格,以厌氧-缺氧-好氧方式运行,在兼氧池中设间歇微曝气,在好氧池中均布设微孔曝气装置,用溶气泵不断地将空气溶入污水,将维持好氧微生物所需的溶解氧。

在厌氧池中投加 C-I 型悬浮生物载体,在兼氧和好氧池中填加 C-II 型塑料蜂窝状浮动生物载体。C-I 和 C-II 型悬浮生物载体是从欧洲引进的最先进的生物载体(表3),比表面积分别为 $180\text{ m}^2/\text{m}^3$ 和 $400\text{ m}^2/\text{m}^3$,经过培养和驯化,微生物附着在载体表面形成生物膜,借以分解水中的有机物,脱除氮磷,老化的生物膜在沉淀池中得以分离。悬浮生物载体随水流和气流循环游动,以保持最大的生物量,相当于活性污泥的污泥负荷(MLSS)的4倍,因此,具有很好的净化性能和抗冲击负荷的能力。污水在厌氧段的水力停留时间是1 h,缺氧段水力停留1.5 h,在好氧段水力停留3.5 h。二级处理工艺中 COD 平均去除率 $>83.3\%$,SS 平均去除率 73.4% , BOD_5 平均去除率 80.3% ,TN 平均去除率 29.9% ,TP 平均去除率 24.7% , $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均去除率 32.3% 。

3.3 沉淀池

尺寸为 $4\text{ m} \times 3\text{ m} \times 3.5\text{ m}$,主要进行固液分离,减少出水中的悬浮物浓度。

3.4 地下渗滤

地下渗滤工程占地面积为 $50\text{ m} \times 20\text{ m} = 1000\text{ m}^2$,底部为防渗塑料膜布,自上而下有布水管、散水管、人工生物滤层、集水支管和干管组成。污水经过浮动生物床之后,再以 $2.4 \sim 3.0\text{ cm/d}$ 的水力负荷投配到地下渗滤系统中。适当减小系统的水力负荷,提高水力停留时间可在保证处理效果的同时防止土壤中腐殖质的积累,避免微生物作用造成的土壤堵塞的问题。

地下渗滤系统采用干湿交替、间歇投配的操作形式,在进水负荷较低时,可直接将污水二级处理后回用或排放到人工湖中,从而也可有效防止微生物新陈代谢产生的 CO_2 、 SO_2 、 N_2 和 N_2O 等气体对土壤孔隙的堵塞过程^[7-9]。

表3 主要设备一览表

Table 3 Apparatus schedule

序号	设备和材料名称	规格型号	数量	备注
1	溶气泵	FPD 40-22	2台	日本尼可尼泵业
2	潜污泵	50WQ-20-15-15	6台	上海泵业
3	生物载体	C-I, C-II	50 m^3	沈阳新星
4	PVC 布水管	DN50-100	135 m	-
5	PVC 集水管	DN50-100	264 m	-
6	防渗塑料布	加厚	864 m^2	沈阳陆达塑料厂
7	自控系统	-	1套	-

4 运行效果与管理

4.1 运行效果

经过约1个月的稳定与驯化期,整套工艺于2003年投入运行(表4和表5)。结果表明,采用浮

动生物床/地下渗滤深度处理校园生活污水,可获得稳定且较好的出水水质,其中污水中 73% 的 SS 和 80% 的 BOD₅ 在二级处理过程中被去除,减轻了地下渗滤处理的负担,有效避免了因悬浮物过多给地下渗滤系统造成严重的堵塞问题;浮动生物床的脱

氮除磷效果不甚理想,脱氮除磷主要是在地下渗滤单元内完成的。说明地下渗滤作为深度处理的方法之一,在脱氮除磷上有其他物理、化学方法无可比拟的优点。

表 4 水质监测结果
Table 4 Monitoring results of water quality

时 间	进 水 (mg/L)			出 水 (mg/L)						总去除率 (%)		
	COD	BOD ₅	SS	浮动床			土 地			COD	BOD ₅	SS
				COD	BOD ₅	SS	COD	BOD ₅	SS			
03.9.3	138	60	64	<10	3.1	<5	<10	<2	<5	92.8	96.7	92.2
04.4.21	241	108	160	38	13.3	40	28	7	10	88.4	93.5	93.8
04.4.26	139	60	160	20	7.6	20	10	3	0	92.8	95.0	100
04.5.8	237	105	120	0	5.2	40	0	<2	8	100	98.1	93.3
04.5.10	141	42	80	20	11.3	0	0	7.4	0	100	80.0	100
04.5.20	102	52	78	23.3	3.5	20	11.8	3.2	<5	88.2	94.3	93.6
06.6.6	390	175	420	116	70	160	60.8	45	15	84.6	71.4	96.4
平均值	198	86	154	33	17	41	17	10	6	92.4	89.9	95.6

表 5 地下渗滤处理效果(监测值的算术平均值)
Table 5 SIS treatment effectiveness (mean values)

项 目	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	pH 值
进水浓度	198.1	86.0	154.5	7.3	29.8	13.6	7.47
土地处理进水浓度	32.5	16.3	55.2	5.5	10.9	9.2	7.94
土地处理出水浓度	15.2	9.5	6.1	0.2	0.37	0.1	7.46
总去除率 (%)	92.3	89.0	96.1	97.3	98.7	99.3	-

4.2 运行管理

学校对污水处理站统一管理,定员 3 人,每年对污水处理设施进行维修。在计算机中已输入了一个操作规程,在正常情况下,可 24 h 内自动运行。当遇到特殊情况,如出现停电、水量瞬间有很大变化时(如暴雨和假期)、水温有较大变化(如冬季)、人工湖溢满、水泵堵塞和微生物异常导致污泥上浮时,则进行人工操作。

考虑到在暴雨时 COD 指标往往很低(<100 mg/L),此时降低进水流量,开启污泥泵,将水解池中的活性污泥泵入曝气池中,以增加污水的浓度,给微生物提供充足的养料。

冬季运行工艺要求:冬季污水水温一般在 10℃ 左右,在工艺上根据实际处理水量适当延长曝气时

间,保证处理效果。一般冬季出水口溶解氧保持 2 mg/L 左右。

4.3 处理成本

工程总投资 70 万元,吨水投资为 875 元/m³。污水处理成本主要由水泵、曝气设备电耗以及日常维护费用等组成(表 6)。

表 6 污水处理成本
Table 6 Cost of wastewater treatment

项 目	处理成本(元/m ³)
水 泵	0.09
曝气设备	0.055
人工费用	0.035
日常维护费用	0.02
总计处理成本	0.20

5 结 论

(1)浮动生物床/地下渗滤联合工艺对生活污水的深度处理效果稳定而良好,出水水质稳定且优于回用水标准,满足教学区冲厕、绿化等用水要求;

(2)系统对进水负荷的变化适应性强,耐冲击负荷;

(3)全部工艺设在地下,无臭气外逸,不影响景观,同时建设容易、维护简单,投资少,运行费用低,仅为0.2元/m³;

(4)采用浮动生物床作为生活污水处理的二级处理工艺,可有效去除BOD₅和SS,且占地面积比常规工艺减少30%~40%;

(5)3年来工艺运行状况良好,地下渗滤系统未出现土壤堵塞的问题。

参 考 文 献

[1] 金兆丰,徐竟成.城市污水回用技术手册.北京:化学工业出版社,2004

[2] 丁威,余松华.生物粒子浮动床处理城市污水(中试).中国给水排水,2000,16(5):16~18

[3] 王书文,刘德祥,孙铁珩.水质自然净化生态工程方法.北京:化学工业出版社,2005

[4] 刘翔,高廷耀.生物接触氧化法处理污水的一种新型填料——悬浮填料.重庆环境科学,1999,21(2):42~44

[5] 钱文敏,等.分散生活污水的土地处理综析.云南环境科学,2005,24(4):40~43

[6] 孙铁珩.城市污水土地处理技术指南.北京:中国环境科学出版社,1997

[7] Lance J. C., Gilbert R. G.. Renovation of wastewater by soil columns flooded with primary effluent. JWPCF, 1980, 52(2):381~388

[8] Robert L. Siegrist. Soil clogging during subsurface wastewater infiltration affected by effluent composition and loading rate. Environ. Qual., 1987, 16(2):181~187

[9] Robert L. Siegrist, William C. Boyre. Wastewater induced soil clogging development. Environ. Eng., 1987, 113(3):550~560