

大学园区污水生态处理技术工艺及系统设计

王书文, 邹 轶, 张吉娜, 孙铁珩  
(沈阳大学沈阳环境工程重点实验室, 沈阳 110044)

摘 要: 详述了大学园区污水生态处理技术的工艺和系统设计问题。通过浮动生物床预处理和潜流湿地或地下毛管渗滤系统的深度处理, 可将校园污水转换成为再生水利用, 该处理系统具有良好的经济效益和生态效益。  
关键词: 校园污水; 生态处理技术; 浮动生物床; 潜流湿地  
中图分类号: X 523 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004)03-0196-03

Ecological Processes and Systematic Design for Campus Sewage

WANG Shu-wen, ZOU Yi, ZHANG Ji-na, SUN Tie-heng  
(Key Laboratory of Shenyang Environmental Engineering, Shenyang University, Shenyang 110044, China)

Abstract: The process and systematical design issues about college campus sewage were discussed. By using floatation biological bed and substrates constructed wetlands processes together, the wastewater could be converted into re-generated water making up for the water shortage of campus.  
Key words: campus sewage; ecological process; floatation biological bed; substrates constructed wetlands

1 概 述

随着大学规模的扩展和土地置换的需要, 许多城市将新型大学园区规划在城郊风景区域, 由于大学污水集中和远离市政排污管路, 大学园区内污水处理和资源化问题成为一特殊的问题。如何经济高效地实现校园污水的“零排放”, 同时又能营造一处生态景观是设计者面临的问题。

污水生态处理是目前世界上新发展起来的技术工艺, 它吸收了传统的污水生化处理和生态处理技术优势, 借鉴自然界水体自净的原理, 加入人工强化预处理技术, 在系统中营造了一个平衡的自然生态环境。系统内部具有较高度度的生物多样性, 同时由于其内部形成了一种自然生态平衡, 系统运行具有较高的稳定性。

该技术把污水有控制地投配到土地或构造湿地基质中, 利用土壤-植物系统生物、化学、物理的净化功能, 按净化功能设计和投配污水, 对可降解污染物加以净化, 对污水中的水资源和 N、P 资源加以利用, 实现污水无害化、资源化处理, 解决污水厂建起得, 转不起的问题。

本文结合作者在沈阳、济南和广州大学园区污水生态处理工程实践, 探索大学园区污水生态处理技术工艺及系统设计问题。本设计方案采用国际上最先进的生态、循环、再生理念, 将传统预处理与生态处理模块有机地结合起来, 克服了传统中水回用工艺的流程冗长、操作管理复杂等缺点。其出水水质稳定可靠, 各项指标均优于中水回用水质标准。同时解决了传统方法氨、氮、磷无法稳定去除, 将中水回用于水

景、人工湖造成水体富营养化问题。

2 设计原则和要求

- (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, 占地面积小, 便于操作管理, 主体工程要求埋地式, 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, 立面设计要“景观化”。
- (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, 主要处理参数瞬时检测, 可随时输入调出及时掌握运行和水质状况。

3 污水处理规模和目标确定

3.1 工程规模

设计学生人数按 20 000 人, 废水产生量按 130 L/(人·d), 灰水产生量 900 m<sup>3</sup>/d, 其他水产生量 1 700 m<sup>3</sup>/d, 废水产生总量 2 600 m<sup>3</sup>/d, 利用一期中水站处理每天产生的 900 m<sup>3</sup>灰水, 二期中水站设计规模定为: Q=1 700 m<sup>3</sup>/d。

3.2 出水水质和工艺处理效率

校园污水属生活污水水质范围为: COD<sub>Cr</sub>: 280 mg/L;

① 收稿日期: 2004-05-12  
作者简介: 王书文(1962-), 男, 教授, 博士, 1992 年毕业于东北农业大学, 主要从事污水高级氧化和污水生态处理技术研究。

BOD<sub>5</sub>: 120 mg/L; SS: 150 mg/L; pH: 6~9; 氨氮: 20 mg/L

出水水质: 要求出水水质达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920- 2002) 标准中城市杂用水水质标准。平均化学需氧量( COD<sub>Cr</sub>): 50 mg/L; 平均 5 日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>): 10 mg/L; 固体悬浮物(SS): 10 mg/L; 氨氮: 10 mg/L

工艺处理效率: COD<sub>Cr</sub> 82%; BOD<sub>5</sub> 91%; SS 93%;

#### 4 技术工艺设计

##### 4.1 总体技术方案分析

常规的污水处理方法包括一级处理(机械与物理化学方法)、二级生化处理以及深度处理。从处理目标来看,要使该校区污水系统出水达到《再生水回用于景观水体的水质标准》(CJ/T 95- 2000) 的水质要求: COD<sub>Cr</sub> 50 mg/L, BOD 10 mg/L, SS 10 mg/L, 必须进行深度处理。因此, 本设计总体工艺为:

- A: 前处理工艺: 浮动生物床技术
- B: 深度处理工艺: 潜流湿地或土地渗滤技术

考虑校园的实际状况经初步论证: 提出如下 3 种技术方案进行技术经济分析论证。

- (1) 浮动生物床+ 潜流湿地;
- (2) 浮动生物床+ 地下渗滤;
- (3) 浮动生物床+ 1/2 潜流湿地+ 1/2 地下渗滤。

##### 4.2 预处理方案

预处理工艺直接关系到后续处理的成败, 因此十分关键。按照总体治理目标要求, 预处理为一级处理与强化一级处理相结合的工艺。

传统一级处理工艺为格栅- 沉淀池处理工艺, 可去除水体中约 1/3 ~ 1/4 的 COD( 主要为附着在悬浮物上的 COD), 该校区排污口原污水 COD 均值为 260 mg/L, 经过一级处理以后, COD 降到 160 ~ 180 mg/L, 在植物生长季节, 可以满足湿地进水的水质要求。浮动生物床技术在曝气池中投加 25% ~ 30% 的生物载体, 是一种高负荷生物处理工艺。由于特殊构筑的生物载体具有比表面积大( 400 m<sup>2</sup>/ m<sup>3</sup>) 和亲微生物的特点, 并随气流和水流沿一定方向流动, 因此处理负荷高( BOD<sub>5</sub>7 ~ 10 kg/ m<sup>3</sup> · d), 抗冲击性能好, 生化反应时间短( 2 ~ 3 h), 系统简单( 可简化初沉池和污泥回流系统, 设备大大简化), 处理构筑物体积小, 因而基建投资与运转费用均低于常规生物处理工艺。在冬季, 设施满负荷运行, 污水的处理效果可以达到出水 COD 值 100 ~ 120 mg/L。因此, 本工程中该校区污水处理系统的预处理采用浮动生物床工艺, 在不同季节, 根据污水污染负荷的变化情况, 通过调整曝气量与曝气时间, 达到湿地进水的要求, 并可以降低运行成本。

##### 4.3 生态处理技术

以土地处理技术为代表的污水自然处理技术, 不仅对各种污染物具有极高的去除效率, 并可实现污水的处理与利用相结合的目的, 其投资仅为常规二级污水处理方法的 1/2 ~ 2/3, 运行费用仅为常规处理的 1/2 ~ 1/3, 既可代替常规处理, 又可作为常规处理后进一步的深度处理技术, 是城市污水处理的革新/ 替代技术之一。

(1) 地下渗滤系统。地下渗滤系统是城市污水土地处理工程技术之一, 它是继慢速渗滤、快速渗滤和地表漫流系统

之后, 近年发展的一项土地处理工程技术。地下渗滤系统: 美国称之为土地渗滤系统, 俄罗斯称其为地下渗滤场, 日本称之为地下土壤毛管浸润渗滤沟或槽; 我国多采用人工净化和地下土壤天然净化结合的方法。经过预处理后, 再经过毛细渗滤的深度净化和过滤作用, 可以得到高质量的回用水。

60 年代日本就开始研究地下土壤毛细管浸润净化污水的技术, 主要应用于旅游点、别墅、城郊小区, 已建成上万个工程; 本段采用地下渗滤土地处理系统地下渗滤处理系统是通过土壤表层至 100 cm 厚的土壤层来净化污水的。在技术原理上, 是利用自然系统的净化功能, 配合工程技术方法, 将污水有控制地投配到地下土层中, 通过土壤- 植物系统的生物、化学、物理吸附、固定, 对污水资源和 N、P 等营养元素再利用, 对污水中的可降解物进行净化, 将复杂的有机污染物变为可利用的简单无机物, 防止了食物链和地下水的污染, 实现了污水的无害化和资源化。

(2) 人工湿地系统。人工湿地是污水土地处理的主要类型之一, 是利用工程措施建立起来的具有湿地性质和特殊用途或功能的仿自然处理系统。人工湿地系统由一些浮水、挺水及沉水植物和微生物、动物与处于水饱和状态的基质层所组成的复合体。人工湿地污水处理系统的优势在于生长于其中的植物和与其相适应的微生物。污水从生长有植物的介质中流过, 从而产生过滤、沉淀、吸附等物理作用及污染物与基质间多种形式的化学反应, 同时, 植物生长还有对污染物的吸收和同化作用, 并且通过根茎叶向水体与基质层供氧, 使周围的多种微生物在厌氧、兼氧、好氧等复杂状态下消化降解污染物。是污水常规处理的革新/ 替代技术, 70 年代以来, 人工湿地污水处理系统迅速发展起来, 在世界各地逐渐受到重视并被运用。

湿地系统是污水生态处理的重要类型之一, 它不仅起到污水净化的作用, 而且通过营造湿地环境, 形成独特的自然景观, 与城市绿化与生态建设紧密结合, 近年来在国内外污水处理中得到广泛应用。

根据系统布水方式以及水在湿地系统中流动方式的不同可以将人工湿地系统分为表面流人工湿地、水平潜流人工湿地以及垂直潜流人工湿地。水平潜流与垂直流人工湿地都具有污染物去除效率, 是人工湿地法处理污水的方向, 各种不同工艺的联合处理可以提高处理的效率, 本项目考虑到冬季越冬问题, 所以采用水平潜流工艺, 可以使湿地系统达到预期的处理目标。

##### 4.4 总体工艺路线

该校区人工湿地生态示范工程应该分为两部分:

(1) 对污水进行治理, 达到城市二级污水处理厂出水标准, 采用浮动生物床预处理工艺, 春夏秋季为一级处理, 冬季为强化一级处理, 通过调节运行方式或与人工湿地组合, 出水指标达到城市二级污水处理厂的出水要求。

(2) 以人工湿地系统为核心, 对该校区河水进行深度处理, 同时与周边地区的城市生态景观建设紧密结合。湿地系统不足之处是占地面积较大, 但是在土地条件允许的条件下, 建造人工湿地同时增加了水面与绿地的面积, 提高城市整体的生态价值。通过合理调控人工湿地系统的水力负荷与污染负荷, 实现污水深度处理的技术目标, 处理后的该校区污则可以达到《地表水环境质量标准》(GB3838- 2002) 中 V

类水体的水质要求:  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  40 mg/L,  $\text{BOD}$  10 mg/L,  $\text{NH}_3 - \text{N}$  2.0 mg/L。完全可以回用, 或作为工业用水。

4.5 技术方案的提出与分析

根据总体方案的要求以及处理对象的水质水量特征、处理目标、以及现场与场地情况, 提出如下工艺方案:

(1) 工艺流程简述。该方案处理工艺分为两个部分: 对于该校区排污口污水, 将构筑湿地作为主体, 以强化一级处理相结合工艺为预处理的技术路线, 出水达到出水的水质要求; 实现水污染治理与城市生态景观建设的有机结合。流程图简图如下:

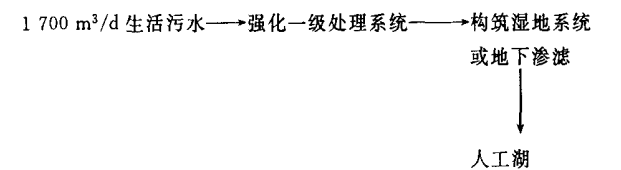


图 1 工艺流程图

为保证该校区排污口生活污水达到二级处理出水指标, 其预处理为浮动生物床强化一级处理工艺。在植物生长季节, 采用一级处理和间歇曝气运行方式, 可去除水体中约 1/3 以上的  $\text{COD}$ , 原污水  $\text{COD}$  值为 240~280 mg/L,  $\text{BOD}_5$  值约 100~150 mg/L,  $\text{SS}$  值约 100~160 mg/L,  $\text{NH}_3 - \text{N}$  值约 20 mg/L, 经过一级处理以后,  $\text{COD}$  值约 180 mg/L, 可以满足构筑湿地进水的水质要求; 寒冷季节则采用污水浮动生物床强化一级处理技术, 处理设施满负荷运行, 能够减轻构筑湿地污染负荷, 是保障人工构筑湿地安全运行的重要手段之一, 污水强化处理可使出水  $\text{COD}$  值 120 mg/L,  $\text{BOD}_5$  值约 60 mg/L,  $\text{SS}$  值约 60 mg/L。

经过浮动生物床强化一级处理后的污水进入多级构筑湿地系统, 该系统采用水力负荷与污染负荷都较高的潜流构筑湿地方式, 污水通过布水装置分别流过种植芦苇、香蒲、灯心草等挺水植物的填料床。由于采取了调整冬季运行方式与构筑湿地的温室保温措施, 出水达到 再生水回用于景观水

参考文献:

[ 1 ] 孙铁珩. 城市污水土地处理技术指南[ M ]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.  
[ 2 ] 张甲耀. 潜流型人工湿地污水处理系统的研究[ J ]. 环境科学, 1998, 19( 4 ): 12- 15.  
[ 3 ] 夏汉平. 人工湿地处理污水的机理和效率[ J ]. 生态学杂志, 2001, 4( 3 ): 23- 25.

( 上接第 78 页 )

5 结 语

种的丰富度、种的均匀度和种的多样性是三个相互联系的术语, 种的多样性是丰富度和均匀度的乘积, 它将两个指标合并为一个指标, 一般来说, 种的丰富度与种的多样性呈正相关, 但有时情况不尽相同, 如果仅由一种植物构成的植物群落则辛普森指数为 0, 最大则 1, 所以用辛普森指数对稀有种反应的灵敏度较小。所以常出现样方内物种多, 因每种数量少, 成为样方内的稀有种, 而个别种占绝对优势, 使辛

参考文献:

[ 1 ] 李景文. 森林生态学[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1994. 203- 220.  
[ 2 ] 高正中. 宁夏植被[ M ]. 银川: 宁夏人民出版社, 1998.  
[ 3 ] 刘灿然, 马克平. 生物群落多样性的测度方法[ J ]. 生态学报, 1997, 17( 6 ): 601- 611.  
[ 4 ] 张晋宁, 章英方. 宁夏六盘山次生林与改造林的植物物种多样性指数分析[ J ]. 宁夏农林科技, 2001, ( 2 ): 11- 12.

体的水质标准》(CJ/T 95- 2000) 的水质要求:  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  50 mg/L,  $\text{BOD}$  10 mg/L,  $\text{SS}$  10 mg/L。流入下游段人工湖。

表 1 三种方案比较

项目	方案 1	方案 2	方案 3
工艺	浮动生物床 + 潜流湿地	浮动生物床 + 地下渗滤	浮动生物床 + 1/2 潜流湿地 / 1/2 地下渗滤
占地面积/ $\text{m}^2$	5660	17060	11365
吨水投资/ 万元	1000	1300	1200
总投资/ 万元	170	221	204
运行费用/( 元 $\cdot \text{t}^{-1}$ )	0. 35	0. 30	0. 32
再生水年净收益/ 万元	21. 71	15. 51	18. 61
静态投资回收期/ a	2. 2	2. 8	2. 5

4. 6 三种方案比较分析

三种方案综合比较如表 1 所示:

新增污水处理规模: 1 700  $\text{m}^3/\text{d}$ , 排污费: 1 元/ $\text{t}$ 。

污水综合景观效果分析比较: 方案 1 占地面积较少, 在春夏秋季节会形成湿地植物和花卉景观, 冬季当地上植物收割后, 景色较差, 寒冷时需要植物覆盖, 由于是潜流湿地水不渗出地面, 故不会带来卫生学方面的污染; 方案 2 占地面积较大, 一年四季绿地效果好, 处理系统完全在地下, 不影响地上景观效果。方案具以上 2 方案之间。该校园由于土地面积限制, 为此本设计选择方案 1。

5 结论与建议

本工艺充分利用自然生态系统的净化功能, 再生水可长期用于补充校园人工湖等景观( 传统方法无法达到)。本项目的实施, 具有污水处理和资源化利用、生态景观建设和生态环境保护示范等多重功效, 对于营造亲水文化氛围, 加强生态文化建设, 实现环境、经济和社会的可持续发展, 具有十分重要的意义。

普森指数  $D$  值偏小。

调查区的生物多样性演替是退耕还林、还草、保护封育的情况下, 土地利用的改变, 对外界环境有强烈的改造作用, 小气候环境的形成, 使群落物种得以生长、生存, 物种的多样性增加, 群落的相对稳定性提高, 这些都属初期发展中的进度演替, 如果始终坚持当前的退耕还林、封山育林、保持水土的政策, 那不久的将来该地区将恢复成稳定的黄土高原原有的干草原植被类型。