

The Design of Artificial Wetlands in New Urban River Channels—Taking Meilun River as an Example

Qi Hu

Shanghai Municipal Engineering Design & Research Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai, 200092, China

Abstract

Meilun River, as the core landscape river of Hainan's ecological and smart New City, has water quality worse than Grade V during the dry season due to incomplete sewage interception in the upper reaches and direct discharge of domestic sewage. The ammonia nitrogen and total phosphorus levels have significantly exceeded the standards. The water quality target for 2020 is Grade IV. In this study, an artificial wetland with an area of approximately 16,000 square meters was constructed on the east side of the west line of the Haiyu River in Meilun. A composite system of vertical flow - horizontal subsurface flow series and horizontal subsurface flow - vertical flow series was adopted. By optimizing the combination of plants such as reeds and cattails and the combination of coarse sand and crushed stone fillers, the effluent quality of the system is superior to Class V surface water, effectively achieving the dual goals of water quality improvement and urban ecological enhancement. Its technological innovation and landscape integration model can provide technical references and practical examples for similar black and odorous water body treatment and river ecological restoration projects.

Keywords

Constructed wetland, surface flow, subsurface flow, vertical flow, filler

新城区河道人工湿地设计——以美伦河为例

胡奇

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司，中国·上海 200092

摘要

美伦河作为海南生态智慧新城核心景观河道，因上游截污不完善及生活污水直排，枯水期水质劣V类，氨氮、总磷超标显著，2020年水质目标为IV类。本研究在美伦河海榆西线东侧建面积约1.6万m²的人工湿地，采用垂直流-水平潜流串联及水平潜流-垂直流串联的复合系统。通过优化芦苇、香蒲等植物搭配及粗砂、碎石填料组合，系统出水水质优于地表水V类，有效实现水质改善与城市生态提升的双重目标，其工艺创新与景观整合模式可为类似黑臭水体治理及河道生态修复工程提供技术参考与实践范例。

关键词

人工湿地；表流；潜流；垂直流；填料

1 引言

人工湿地作为低成本生态处理技术，通过植物-基质-微生物协同作用实现污水净化，兼具环境效益与景观价值。美伦河作为海南生态智慧新城核心景观河道，因上游截污不完善及生活污水直排，枯水期水质劣V类，氨氮、总磷超标显著。本研究采用复合人工湿地系统，旨在通过工艺创新与景观整合，实现水质改善与城市生态提升的双重目标。

2 人工湿地简介

人工湿地主要由水体、植物、基质和微生物等构成，是一种通过各组成部分相互协同作用对污水进行治理的净

化技术。按照人工湿地内水流的不同流动方式，可将其分为表流人工湿地、潜流人工湿地和垂直流人工湿地三类。

2.1 表面流人工湿地

在表面流湿地系统中，污水在湿地的表面流动，水位较浅，多在0.1m~0.6m之间。这种湿地与自然湿地最为接近，依托于植物水下生长部分的叶、茎、杆上的生物膜，绝大部分存在于污水中的有机污染物可以得到有效去除。其优点是工程造价低，运行管理方便。

2.2 水平潜流人工湿地

水平潜流人工湿地亦称作渗滤湿地系统，其运行特征表现为污水在湿地床体内部渗流。该模式具有双重技术优势：其一，能够充分发挥填料表面附着的生物膜、植物发达根系及表层填料与土壤的协同净化作用，通过生物膜降解、根系吸收及物理截留实现污染物去除；其二，由于水流处于

【作者简介】胡奇（1992-），男，中国上海人，硕士，工程师，从事水利工程设计研究。

地表以下的封闭环境,系统具备优良的保温性能,处理效能稳定且不易受极端气候影响,同时避免了开放式水体可能引发的卫生问题,在环境友好性方面表现突出。

2.3 垂直流人工湿地

在垂直流人工湿地中,水流运动兼具表面流与潜流湿地的双重特性,其显著特征为水体在填料层内以垂直下渗为主要流动方式,形成自上至下的定向渗透路径。经过填料层净化的水流最终由湿地床体出水端底部的集水管系收集,并通过排水系统排出处理单元。

3 人工湿地原理及净化效果

人工湿地治理技术基于生态学原理,人工将土壤、沙子和石头等材料按照特定的结构和比例组合成湿地基质,并种植具有净化污染物效果或耐污染能力强的水生植物,形成一种类似自然湿地生态系统的新型污水处理系统。通过多重机制的协同作用,可以有效去除悬浮物、有机物、氮、磷及重金属等污染物。

4 工程实践

4.1 工程概况

美伦河及蓝梦湖是海南生态智慧新城的重要景观节点,由于美伦河上游段沿线存在水质较差的地表及面污染来水汇入美伦河,影响美伦河下游的水质,污染负荷较大,属于黑臭水体,大部分指标为劣五类。

为消除黑臭水体,确保美伦河及蓝梦湖水质,故在美伦河海榆西线东侧结合美伦河设置人工湿地一座,面积约1.6万 m^2 ,对白莲镇生活污水进行拦截,对上游来水进行过滤净化,削减污染物浓度,降低水体污染。

美伦河现状水质采样检测结果显示,美伦河水质为地表水V类~劣V类之间;汛期水质比非汛期好。主要超标污染物为氨氮和总磷。根据《海南省污染水体治理三年行动方案(2018-2020年)》,美伦河2020年水质目标为IV类。

4.2 人工湿地设计

4.2.1 湿地总体设计

1) 人工湿地工艺流程

美伦河一级氧化塘→格栅井→引水渠→拦污格栅→复合人工湿地→美伦河二级氧化塘。

2) 水质目标

进水水质: $BOD \leq 20 \text{ mg/L}$, $COD \leq 50 \text{ mg/L}$, $SS \leq 80 \text{ mg/L}$ 。

出水水质: $BOD \leq 6 \text{ mg/L}$, $COD \leq 30 \text{ mg/L}$, $TN \leq 1.5 \text{ mg/L}$, 氨氮 $\leq 1.5 \text{ mg/L}$ 。

3) 占地面积计算

计算公式: $A_s = (Q \times (\ln C_0 - \ln C_e)) / (Kt \times d \times n)$

其中 A_s 为湿地面积 (m^2);

Q 为流量 (m^3/d), 取枯水季节枯水年月平均流量 $12000 m^3/d$;

C_0 为进水 BOD (mg/l), 进水 BOD 根据水质监测成

果取 25 mg/l ;

C_e 为出水 BOD (mg/l), 出水 BOD 达到四类水标准取 6 mg/l ;

Kt 为与温度相关的速率常数, $Kt = 1.014 \times (1.06)^{(T - 20)}$;

d 为介质床的深度, 一般从 $60 - 200 \text{ cm}$ 不等, 本项目取 120 cm ;

n 为介质的孔隙度, 一般从 $10 - 40\%$ 不等, 本项目取 30% 。

经计算人工湿地表面积 A_s 需达到 1.69 万 m^2 。

4) 水力停留时间

计算公式: $t = v \times \varepsilon / Q$

其中 t : 水力停留时间 (d)

v : 池子的容积 (m^3), 本项目容积为 $V = 19919.0 m^3$;

ε : 湿地孔隙度, 湿地中填料的空隙所占池子容积的比值, 需实验测定, 本项目按 30% 计;

Q : 平均流量 (m^3/d);

经计算水力停留时间 (d) $= d = 12 \text{ h}$ 。

5) 水力负荷

计算公式: $HLR = Q / A_s$

$Q = 12000 m^3/d$; $A_s = 16917 m^2$ 。

经计算水力负荷 $HLR = 0.71 m^3/m^2 \cdot d$ 。

6) 人工湿地平面布置

为满足周边景观功能要求, 在美伦河海榆西线北侧拓宽河道水面形成蓄水池及人工湿地, 可承担周边农村面源污染源, 平面位置如图1所示。

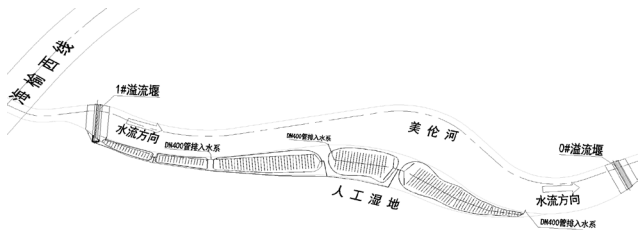


图1 人工湿地平面示意图

7) 人工湿地类型设计

垂直潜流人工湿地原理如图5所示。由于水流方向的不一致, 垂直流人工湿地与表面流、水平潜流人工湿地结构差异较大。

因此垂直潜流人工湿地建设费用较高, 构造及管理也较复杂, 但脱氮除磷效果很好, 主要用于畜禽养殖粪便污水处理、村镇生活污水处理等。

水平潜流人工湿地的结构如图6所示。在纵向上, 其进水区、处理区和出水区的功能与表面流人工湿地相似。

由于水平潜流人工湿地的水流方式是平流通过填料层, 因此其主要净化机制转变为填料的吸附作用以及附着在填料表面的微生物的生化作用, 从而显著增强了处理能力。

同时,植物根系具有较强的输氧能力,可使根系周围的水环境中保持较高浓度的溶解氧,供给生长在砾石等填料表面的好氧微生物的生长、繁殖及对有机污染物的降解所需。

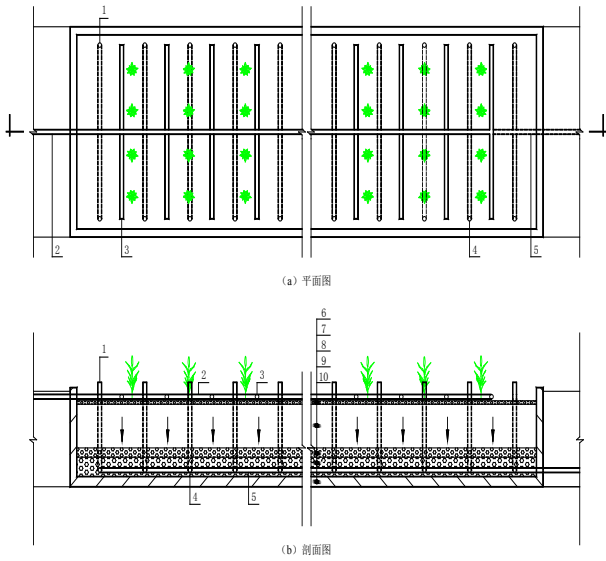


图2 垂直流人工湿地示意图

1—通气管; 2—配水主管; 3—配水支管; 4—集水支管; 5—集水主管; 6—覆盖层(可选); 7—填料层; 8—过渡层; 9—排水层; 10—防渗层

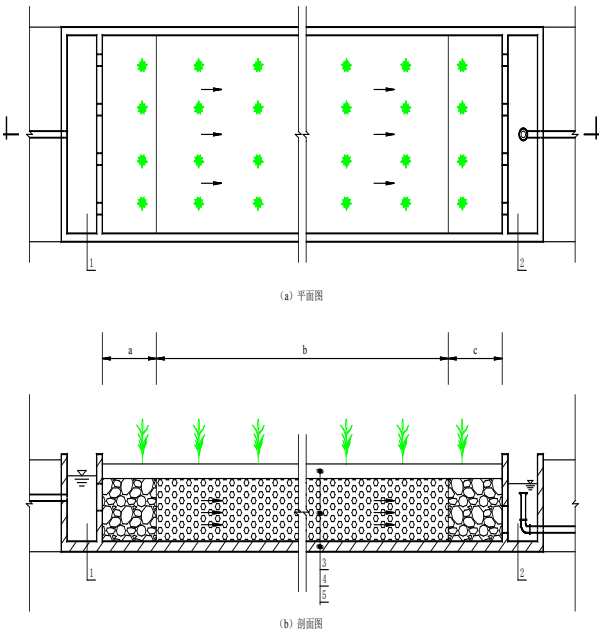


图3 水平潜流人工湿地示意图

1—配水渠; 2—出水渠; 3—覆盖层; 4—填料层; 5—防渗层
a—进水区; b—处理区; c—出水区

由于美伦河主要污染源为上游段沿线存在水质较差的地表及面污染来水,以及周围白莲镇生活污水排放,主要超标污染物为氨氮和总磷,因此脱氮除磷效果很好的垂直潜流湿地为优先选择方案。

同时考虑到水平潜流人工湿地具有更好的硝态氮去除效果,对于浓度高的进水氮,采用垂直流-水平潜流串联及水平潜流-垂直流串联的复合人工湿地的水质净化效果更好。

综上所述,综合考虑国内人工湿地建设经验、美伦河来水污染物指标、现状水质及不同类型人工湿地的特点,本次人工湿地采用垂直流-水平潜流串联及水平潜流-垂直流串联的复合人工湿地。

8) 人工湿地并联单元设计

人工湿地分为4个并联单元,各单元分为两级串联种植池,种植池总共9座,由南向北依次为W1二级、W1一级、W2一级、W2二级、W3一级、W3二级、W4-1一级、W4-2一级、W4二级,各座种植池的面积详见下表:

表1 各座处理池的参数统计一览表

并联处理单元	分级单元	占地面积 (m ²)	长宽比	处理能力 (m ³ /d)
W1	一级	1307.2	5.52	1585.2
	二级	979.9	4.71	
W2	一级	2276.5	2.87	3640.8
	二级	3002.3	2.10	
W3	一级	1842.3	3.88	2594.1
	二级	2139.2	3.21	
W4	一级	a	1597.3	3.62
		b	1849.6	3.66
	二级	1923.2	3.58	
合计		16917.1		12000

4.2.2 进水口系统设计

进水口位于美伦河溢流堰上游约15m处,引水干管为HDPE管直径600mm,进口管底标高40.2m,管道纵坡1‰。进水口处设置一座格栅井,格栅井内有控制闸门。为将水均匀分配至各种植池,尽量少布置分流口,共设置2座分流井,分流井内设置控制闸门。W1和W2种植池布水渠从1#分流井内取水,取水渠为矩形暗沟,纵坡1‰;W3和W4种植池布水渠从2#分流井内取水,取水渠为矩形暗沟,纵坡1‰。

4.2.3 排水系统设计

各垂直流湿地下方间隔布设排水渗管,间距4m,管径100mm,各管道排入主排水渗管,管径150mm,经收集后的水排入出水渠,出水渠内设置旋转弯头及控制闸阀,可以有效控制各种植池的水位。

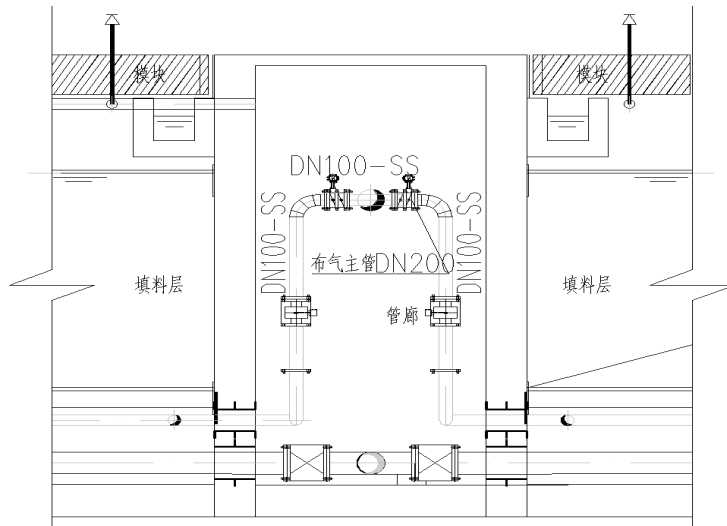


图4 垂直潜流湿地出水系统

4.2.4 人工湿地植物选择

人工湿地采用水生植物主要有挺水植物芦苇、香蒲、水葱、美人蕉。浮水植物凤眼莲、睡莲，沉水植物狐尾藻、金鱼藻等。本次垂直流人工湿地植物采用芦苇、宽叶香蒲、再力花及水葱。

4.2.5 人工湿地填料选择

根据当地材料情况，本次湿地采用粗砂和碎石，垂直流湿地最下层为砾石厚度 300mm，粒径 10~30mm，中间层为砂石层厚度 200mm，粒径 2~10mm，上层为中粗砂层厚度 700mm，粒径 0.06~2mm。

水平潜流湿地进水口及出水口 2m 范围内为砾石，厚度 1200mm，粒径 20~60mm，中部为细砾石层，厚度 1200mm，粒径 6~20mm。

5 结语

随着人工湿地逐步兴起，人工湿地技术也日趋完善。本工程采用垂直流 - 水平潜流串联的复合人工湿地系统净化

污染源，在保证与周边景观环境一致的前提下，通过优化植物搭配保证系统出水水质，系统出水水质可优于地表水 V 类水体要求。人工湿地不仅在净化污水方面发挥了极其重要的作用，还满足了城市居民对自然景观的追求。

参考文献

- [1] 吴海明.人工湿地的碳氮磷循环过程及其环境效应[D].山东大学,2014.
- [2] 卢观彬,邓荣森,肖海文,金龙.暴雨径流人工湿地处理新技术[J].市政技术,2007,25(4):275-278.
- [3] 范志锋,李平,王丽卿,季高华,邱雪妹.复合型人工湿地系统在农业面源污染水处理上的应用[J].上海海洋大学学报,2010,(2):2010-02.
- [4] 许正荣 王毅 孙浩.人工湿地处理农村面源污染水源的设计与应用[J].给水排水,2014,(4):56-58.
- [5] 肖海文,刘馨瞳,翟俊,等.人工湿地类型的选择及案例分析[J].中国给水排水,2021,37(22):11-17.