

潜流人工湿地系统水力设计原则及类型

朱红伟^{1,2}, 李巍¹, 张以胜¹, 施蓓¹, 陈煜权¹, 逢勇²

(1. 上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200434; 2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要:水力学条件是潜流型人工湿地建立及维持最重要的决定因子, 直接关系人工湿地污水处理系统中的流速、流态、停留时间以及与植物生长关系密切的水面线控制等水力因子的设计和确定。概括分析了潜流型人工湿地水力设计的原则和类型, 提出了复合潜流人工湿地系统水力模型构建的方法, 以及形成系统的水流条件控制方法的研究路线, 以期潜流人工湿地优化设计、优化运行及机理模型的建立提供理论基础。

关键词:潜流人工湿地; 水力设计; 模型构建

中图分类号: X143

文献标志码: A

文章编号: 1004-6933(2016)S1-0070-03

人工湿地系统对于水流流动的变化非常敏感, 其水力条件能显著影响湿地的有效容积、水流扩散程度和对污染物的去除效果等^[1]。水流流动赋予湿地生态系统区别于陆生生态系统和深水生态系统的独特物理化学属性, 使得其成为湿地类型和过程建立及维持最重要的决定因子^[2]。湿地的水力学特性主要体现在两个方面: 一是湿地结构形式或运行条件对湿地水力学性能的影响, 如湿地形状对人工湿地水力学效率的影响、植物对水流扩散的影响、不同湿地尺寸和不同粒径基质对人工湿地的水力学行为的影响。此外, 水平流人工湿地进出口位置和基质填充配比对人工湿地的水力学行为也具有一定的影响。二是从湿地各水力学条件对污染物去除效果的影响研究。如有效容积率和水流离散程度等水力学效能因子对人工湿地氮污染物去除效果的影响, 以及湿地床体的长宽比、水深、流速、进出水位置、植被或地形等的影响^[3]。

目前, 国内外广泛应用的主要是环境友好且处理效果较好的潜流型人工湿地。在潜流湿地系统中, 污水在湿地床的内部流动, 一方面可以充分利用填料表面生长的生物膜、丰富的根系及表层土和填料截流等的作用, 提高其处理效果和治理能力; 另一方面由于水流在地表以下流动, 具有保温性能好、处理效果受气候影响小、卫生条件较好的特点^[1,4]。生物处理的效率依赖于污染物质和微生物种群的接触及持续时间, 为了获得最大的处理效率就必须使污水中污染物与人工湿地中植物根系和填料表面接

触时间达到最长, 尽量减少短路现象及死水区域。相对表面流湿地系统而言, 潜流式湿地因其水流方式更加需要通过人为控制来进行调整, 所以对于潜流型人工湿地, 水力因素显得更为重要。对潜流型人工湿地进行水力设计, 合理确定其结构、基质类型、填充方式、植物排布、布水方式以及复合潜流的组合方式, 在保证处理效果的基础上, 对减少占地面积, 节约工程费, 减少日常维修量和维修费用等都具有显著的经济效益。

1 潜流人工湿地系统水力设计原则

在潜流型人工湿地中, 均匀布水是至关重要的内容和主要设计原则之一^[5]。在人工湿地处理污水的过程中, 布水是否均匀直接关系到湿地能否稳定运行。对湿地进行有效布水可以改善湿地处理系统的性能, 提高湿地的处理效率, 对促进整个人工湿地系统生态良性循环具有重要的作用。只有合理均匀地设计水力条件, 才能够保证同一级处理系统的负荷一致, 防止短路流和死区的发生, 从而达到理想的处理效果。考虑到降低投资、运行和维护费用的原则, 简单是湿地布水系统的水力设计的另一个重要原则, 如污水向湿地处理系统的输送利用水的重力自然流而不用其他动力装置。

2 潜流湿地进出水口装置及布集水设计

2.1 湿地单元进出水口装置和设计

进水管渠是向人工湿地中输送污水的主要装

置,其还用于调控污水流量。进水口一般采用单点布水、多点布水和溢流堰布水 3 种方式(图 1)。单点布水一般用于湿地单元长宽比较大的情况,如进水区较窄或湿地呈狭长形。如果进水区较宽,宜采用多点布水以保证均匀布水。采用溢流堰布水方式是在出水口设溢流堰进行均匀布水,可以对污水进行预处理,此种方式布水均匀化效果最好^[5]。

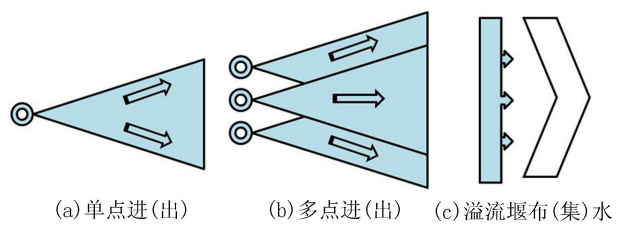


图 1 湿地单元不同进(出)水方式示意图

出水口的重要功能之一是控制湿地水位。水位的确定需要考虑植物生长的需要、水力停留时间和湿地单元的维护等因素。湿地出水口设计和进水口类似,其对均匀布水,也有非常重要的作用。单点出口容易产生死区,造成水力停留时间缩短,采用多点出口可有效改进。出水口也可以采用水堰流出方式,此方法效果最好,并有利于控制水位和监控出水水量和水质。

2.2 水平潜流湿地单元布集水设计

2.2.1 水平潜流湿地单元布集水方式

比较常见的布集水方式有:①对角流(上进下出);②对角流(下进上出),对角流为前端多孔管进水,末端对角出水;③一般推流,为前端多孔管进水,末端多孔管出水;④部分回流,为前端进水,末端出水回流至前端;⑤波流,为前端进水,末端出水,在中部插挡流板;⑥ 多点进水,为前端和中间处进水,末端出水。6 种布水方式及水流特性见图 2^[6]。

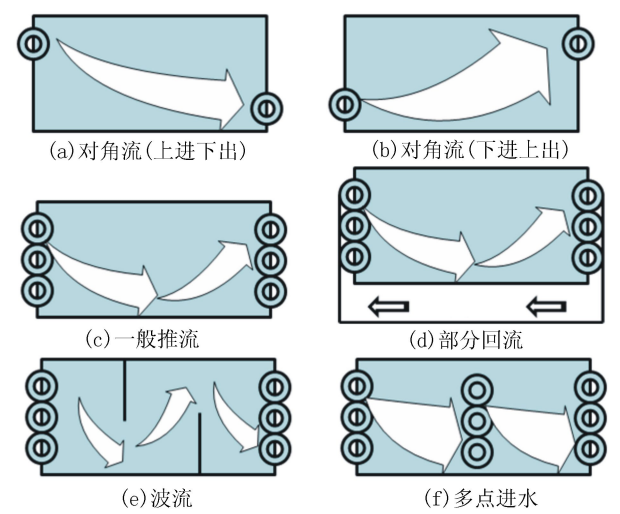


图 2 湿地单元不同进水方式示意图

2.2.2 水平潜流湿地单元进水区和集水区设计

在潜流人工湿地系统中,进水管外围常常设有

由粒径大于净化区介质填料的碎石构成的布水区,以保证进水的快速分布并防止塘区的形成和藻类的生成。布水设计主要有两种方式:层式布水和护管式布水(图 3)。层式布水主要考虑基质阻力和布水高度对人工湿地水力学特性的影响。其中,基质阻力影响分别考察净水区阻力、集水区阻力以及净区阻力和集水区阻力之比。护管式布水主要考虑布水高度和宽度对人工湿地水力学特性和水力学效率的影响^[3]。

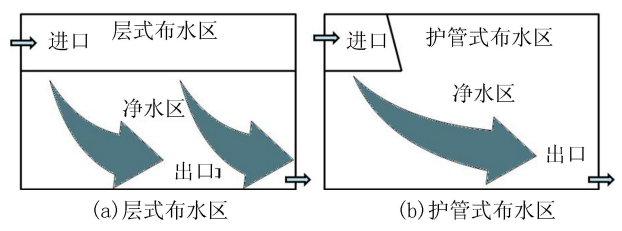


图 3 潜流人工湿地层式和护管式布水区

在潜流人工湿地系统中,出水管外围也设有由粒径大于净化区介质填料的碎石构成的集水区以便于出水的收集和避免壅水现象的发生,集水区在人工湿地(特别是潜流人工湿地)的设计中很有必要也很普遍,其同样有层式集水和护管式集水两种方式(图 4),水力特性影响因子同布水区设计。

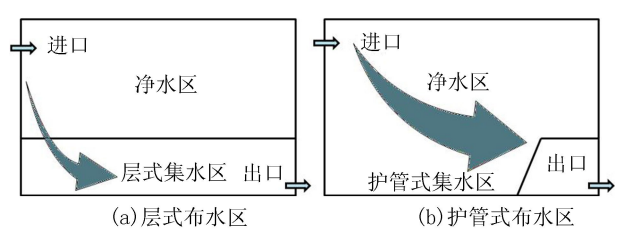


图 4 潜流人工湿地层式和护管式集水区

布水区与集水区的设置还可以分为水平和竖直方向,一般采用 3 类水平式布水区与集水区结构:①水平方向上单设布水区或集水区;②水平方向上增设布水区或集水区;③竖直方向上对称布水区和集水区(图 5)。

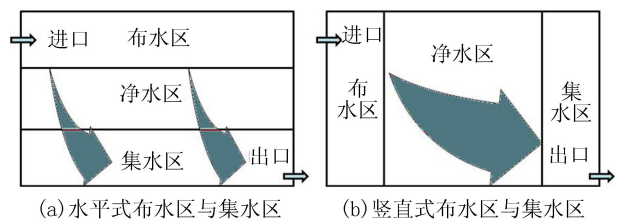


图 5 竖式布水与集水区结构

2.3 垂直潜流湿地单元布集水设计

垂直潜流湿地水流情况综合了表流湿地和潜流湿地的特性,床体处于不饱和状态。垂直潜流湿地可以采用简单的由上向下的垂直流,水经湿地表面下行,从底部排出(图 6(a))。还可以采用逆向垂直流人工湿地,即水从湿地底面呈推流式上

升^[7],此设计适合寒冷地区的人工湿地,从底部进水可以防止布水管的冻结和爆破(图6(b))。目前应用较广的是复合垂直流人工湿地,上行池与下行池中间利用高差使水能够均匀分布(图6(c)),其优点在于利用上行池硝化、下行池反硝化作用可以使氮的去除效率较高^[5]。

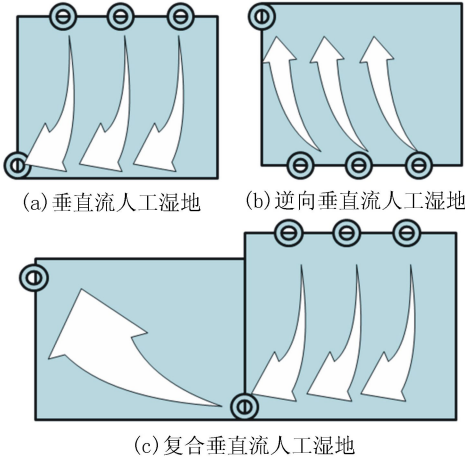


图6 垂直潜流人工湿地布水示意图

3 人工湿地系统工艺组合

潜流型人工湿地在应用时一般采用组合工艺,如水平潜流—垂直潜流系统、水平潜流—氧化塘系统、不同基质、不同植物潜流湿地等(图7)。其中,

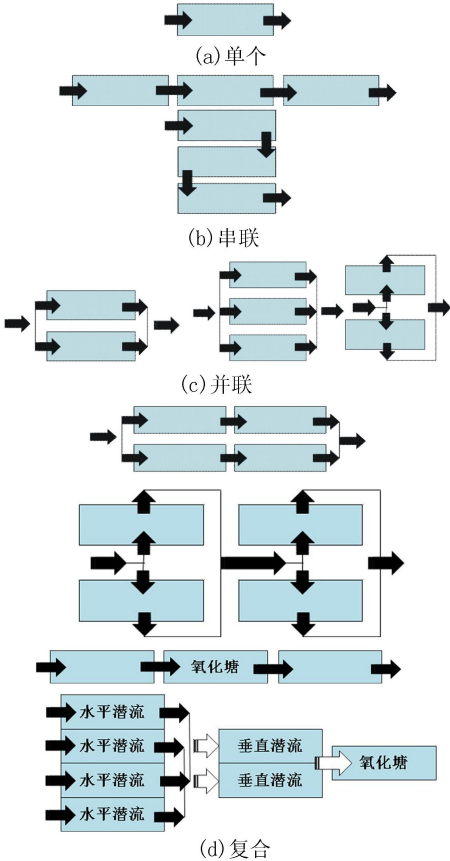


图7 潜流人工湿地组合工艺

应用较广的是采用水平潜流和垂直潜流工艺系统组合,该组合充分利用了两种潜流湿地的优点,形成优势互补,在去除有机污染物的同时也增强了总氮的去除率。但是,如果这类湿地组合不经过回流就会影响硝化以及后续的沉淀效果。目前,对人工湿地还缺乏可靠的预测手段,尤其是对潜流型人工湿地的水力学运动规律和效率尚未有全面细致的掌握,所以有必要从水力学角度就人工湿地停留时间、停留分布区域和水力学效率研究潜流人工湿的水流规律和水力条件对湿地净化效果的影响(图8)。在加强对人工湿地内部水流规律的认识,强化水流条件的控制的同时,建立合适的水流模型和污染物降解模型,以提高工程实际应用中人工湿地的处理效果^[8]。

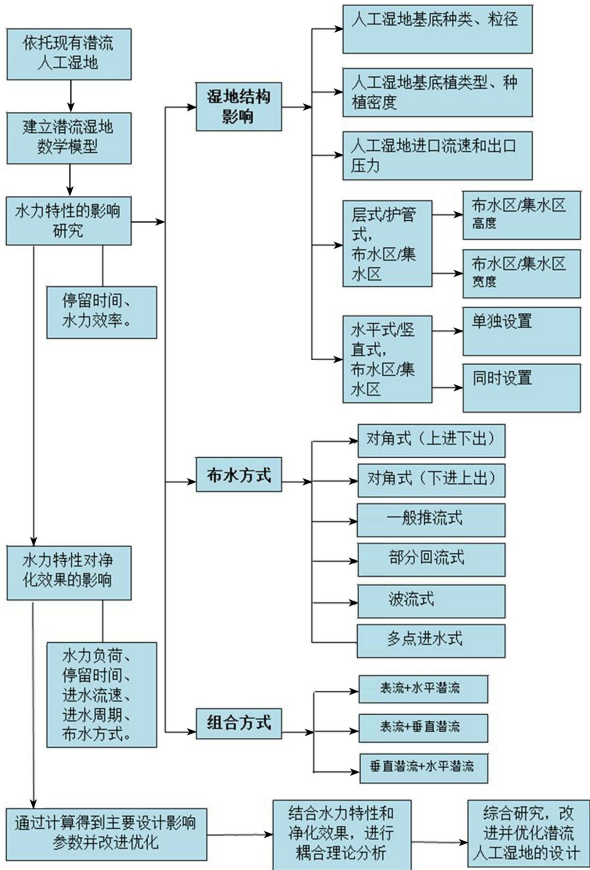


图8 人工湿地水力系统构建技术路线

4 结 论

潜流人工湿地是植物、微生物和填料三者的复合系统,水力条件、生物因素、物理化学条件等众多复杂的因素都对潜流人工湿地的去除效果有重大的影响。其中水的流入和流出影响着湿地系统的物质进出平衡,水流作为唯一的动力因素使得水力条件的作用更加突出。但是大多人工湿地污水处理系统的水力设计与运行依然建立在经验的基础上,使其无法最大限度地发挥净化功能, (下转第87页)

适度弯曲的连续河湾,将河势稳定。该段河道整治的重点首先是对凹岸进行防护,避免主流坐湾,按微弯整治方案优化工程布局^[5]。

头道墩—石嘴山河段属游荡型河段,河床河岸抗冲性能差,冲淤变化较大,主流摆动剧烈,两岸主流顶冲点不定,经常出现横河、斜河顶冲大堤险情。针对游荡型河道特点,该河段按中水整治方案布置各种整治工程。采取工程措施,控导住主流,使其游荡摆动范围缩小,避免出现横河、斜河顶冲大堤险情,最终目标是整治成微弯河道。

4 结 语

多年治河工程 and 实践经验表明,河道治理工程措施的建设可以从一定程度上起到稳定河槽、控制河势、减免灾害的作用,但不能够彻底解决河道泥沙淤积根源问题。黄河宁夏段上游来水来沙不协调的变化是造成该河段泥沙淤积增加态势的根本原因,而大型水利枢纽在协调黄河水沙关系、减少河道淤积、维持中常洪水河槽行洪能力、保障河段防凌(防洪)安全等方面将发挥重要作用。比如小浪底水利枢纽工程通过科学合理的调水调沙,利于下游河道冲刷,在稳定下游河槽、控制河势、扭转下游河道萎缩局面发挥着至关重要的作用,同时利用河段防洪

防凌工作,兴利除害。因此,为根本性解决黄河宁夏段水沙关系改变造成的泥沙淤积问题,建议借鉴小浪底水利枢纽工程实际成功经验,在宁夏黄河河道上游修建大的控制性枢纽工程,通过合理调水调沙彻底改变河道淤积及其带来的一系列负面问题。

参考文献:

[1] 黄河勘测规划设计有限公司,宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司. 黄河宁夏河段近期防洪工程建设可行性研究报告[R]. 银川:宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司,2009.

[2] 黄河勘测规划设计有限公司,宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司. 黄河宁夏河段二期防洪工程初步设计报告[R]. 银川:宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司,2015.

[3] 黄河勘测规划设计有限公司,宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司. 黄河宁夏河段二期防洪工程可行性研究报告[R]. 银川:宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司,2014.

[4] 朱思远,陆立国,顾靖超. 黄河宁夏段河道淤积发展趋势分析[J]. 宁夏工程技术, 2010,9(1):79-82.

[5] 黄河勘测规划设计有限公司,宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司. 黄河宁夏段河道整治规划报告[R]. 银川:宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司,1991.

(收稿日期:2016-08-24 编辑:王 芳)

(上接第 72 页)

因而限制了人工湿地技术的发展和应用,特别是在与景观建设相结合的潜流人工湿地系统设计中。揭示人工湿地水力学特点对污水净化效果的影响和人工湿地内污染物随水流运移规律,对人工湿地的优化设计和长效运行具有重要的理论指导作用。

人工湿地的水力效率[J]. 环境科学学报, 2010, 30(1):117-123.

[7] 尹海龙,徐祖信,李松. 垂直潜流人工湿地布水方式对水流运动影响探讨[C]//第二届全国水动力学研讨会文集. 北京:海洋出版社,2007.

(收稿日期:2016-11-15 编辑:陈玉国)

参考文献:

[1] 付贵萍,吴振斌,任明迅,等. 垂直流人工湿地系统中水流规律的研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(6): 720-725.

[2] SURHONE L M, TENNOE M T, HENSSONOW S F. Treatment wetland[M]. New York: Betascript Publishing, 2010.

[3] 芦秀青. 垂直流人工湿地水力学规律与数学模型研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2010.

[4] 朱伟,华国芬,赵联芳. 人工湿地“布水”设计与思考[EB/OL]. [2015-11-22] <http://wenku.baidu.com/view/84f70248c850ad02de80415d.html>

[5] 宋新山,严登华,陈燕,等. 不同布水方式下水平潜流人工湿地水动力学机制研究[J]. 水利学报, 2008, 39(7): 818-825.

[6] 宋新山,张涛,严登华,等. 不同布水方式下水平潜流

