

文章编号: 1005-0523(2004)04-0001-05

芦苇人工湿地处理技术研究进展

王金金, 陈 栋

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 叙述了芦苇人工湿地污水处理技术的分类、特点及其在国内外的研究与应用进展. 介绍了复合式芦苇湿地、新型芦苇床填料等相关的新技术. 指出系统的堵塞和芦苇的衰退等问题是进一步发展芦苇湿地亟待解决的问题.

关键词: 芦苇; 人工湿地; 污水处理

中图分类号: TM343

文献标识码: A

人工湿地在污水处理、污染物控制和改善环境方面已经得到各国的普遍重视和应用^[1]. 在人工湿地污水处理系统中, 植物床起着非常重要的作用^[2,3]. 人工湿地根据湿地中主要植物形式可分为: ①浮生植物系统; ②挺水植物系统; ③沉水植物系统. 浮水植物主要用于 N、P 去除和提高传统稳定塘效率. 沉水植物系统还处于实验室阶段, 其主要应用领域为初级处理和二级处理后的精处理. 目前一般所指的人工湿地系统都是指挺水植物系统, 挺水植物中芦苇应用最为广泛. 1953 年, 德国的 Dr. Kathe Seidel 在其研究工作中发现芦苇能去除大量有机和无机物. Dr. Seidel 通过进一步实验发现一些污水中的细菌在通过种植的芦苇时消失 (大肠菌、肠球菌、沙门氏菌), 实验还表明芦苇能从水中去除重金属和碳水化合物. 1974 年德国建成了第一个芦苇人工湿地. 上个世纪八、九十年代芦苇人工湿地在世界上许多国家得到快速发展, 已有数百座芦苇人工湿地系统投入使用. 芦苇已是国际上公认的人工湿地处理污水的首选植物. 目前世界各国正投入大量人力和物力研究、应用芦苇湿地, 并不断改进芦苇人工湿地技术^[1,4-7,11,19,23].

1 芦苇人工湿地的基本构造与工艺

芦苇人工湿地主要由三部分组成: 1) 具有各种透水性的基质 (如土壤、砂、砾石), 基质为植物提供物理支持, 为各种复杂离子、化合物提供反应界面, 为微生物提供附着; 2) 适于在饱和水和厌氧基质中生长的植物芦苇, 对污水中污染物质的吸收利用、吸附和富集作用; 3) 生物种群, 对污水中污染物质的吸收利用、吸附和富集作用.

芦苇人工湿地系统一般作为二级生物处理工艺应用, 工艺流程有多种形式, 其中常用的有四种: 推流式、阶梯进水式、回流式和综合式. 阶梯进水式: 可以避免填料床前部的堵塞问题, 有利于床后部的硝化脱氮作用的发生; 回流式可以对进水中的 BOD₅ 和 SS 进行稀释, 增加进水中的溶解氧浓度并减少处理出水中可能出现的臭味问题. 出水回流同样还可以促进填料床中的硝化和反硝化脱氮作用; 综合式则一方面设置了出水回流, 另一方面还将进水分布到填料床的中部, 以减轻填料床前端的负荷.

收稿日期: 2004-03-18

基金项目: 江西省教育厅自然科学研究项目 (2004).

作者简介: 王金金 (1956—), 女, 河南获佳人, 教授.
中国知网 <http://www.cnki.net>

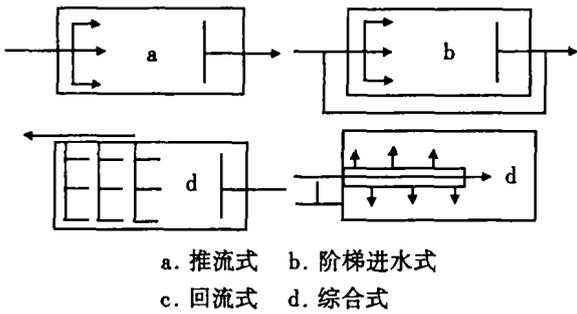


图1 人工湿地基本流程图

2 芦苇人工湿地的作用和特点

芦苇人工湿地处理污水系统是由适合污染环境条件下生存的大型水生植物芦苇为主的高、低等生物和处于水饱和状态的基质组成的人工复合体——污染生态系统^[8]。芦苇人工湿地是利用自然生态系统的物理、化学和生物的三重协同作用来完成对污水的净化^[9]。

芦苇人工湿地具多种重要的作用和特点：

1) 吸收利用、吸附和富集作用。当污水通过芦苇湿地系统时，芦苇能从污水中吸收营养物质加以利用，并能吸附和富集重金属和一些有毒有害物质，使水质得到净化。芦苇对重金属等污染物质有显著的吸附和富集作用，芦苇体内的重金属浓度可达到污水中重金属浓度的几十、几百甚至几千倍。在芦苇体内富集的污染物质通过每年对芦苇的收割最终从系统中去除。

2) 能显著增加微生物的附着。芦苇的根茎发达，有利于微生物生长附着，芦苇床的优势菌属：假单胞菌属、产碱杆菌属、黄杆菌属，原生动物的肾形虫居多。这些菌均为快速生长的微生物，而且体内含有降解质粒，是对污水中有机物分解的主体微生物种群。废水流经芦苇床时，大量的SS被根系阻挡截留，有机污染物则通过微生物的吸收、同化及异化作用而被去除。

3) 将大气氧传输至根部。人工湿地的脱氮机理主要是硝化反硝化，氧化是脱氮的限制步骤。芦苇的根系比较发达，泌氧能力强，芦苇的泌氧功能比水葵、水葱、黄昌蒲、美人蕉等水生植物的要高，芦苇根系的输氧速率远远大于由于空气扩散所得的氧量^[10]。华中农业大学李科德^[11]等采用人工模拟芦苇床处理生活污水，对其净化机理进行了研究。结果表明，芦苇根际具有较高的氧化还原电势，为好氧微生物的活动创造了有利条件。在芦苇根系周

围形成一个好氧区域，其中形成的好氧生物膜对氧的利用使离根系较远的区域呈现出缺氧状态，而在离根系更远的区域则呈现出完全的厌氧状态。这些溶解氧含量不同的区域分别有利于大分子有机物及氮、磷的去除。芦苇湿地床内部溶解氧的存在，对于好氧微生物的硝化作用和聚磷菌的过量聚磷作用是必不可少的^[12]。

4) 增加或稳定土壤的透水性。可向地下部分输氧，根和根状茎向基质中输氧，因此可向根际中好氧和兼氧微生物提供良好环境。芦苇的根可松动土壤，死后可留下相互连通的孔道和有机物。无论土壤最初的孔隙率如何，芦苇可稳定根际的导水性相当于粗砂2~5年^[13]。

因为芦苇人工湿地具有以上功能和特点，因此对污水中的有机物、营养物质、重金属和有毒物质去除率很高。有关的报道很多，如诸惠昌^[14]等采用种植已达4年之久的芦苇床对进水COD浓度为400~800 mg/L的乳制品厂废水进行处理，COD的去除率达97%~98%，BOD₅的去除率达98%~99%；芦苇一水葱组对藻毒素（浓度为0.117 μg/L）的去除率为68.5%^[15]；每100 g鲜芦苇24 h可分解酚8 mg^[16]；芦苇湿地对^[17]矿物油的净化率高达88%~96%。芦苇还具种植简单、抗水性强、繁殖能力强，生长周期长、管理要求粗放、经济价值高（是优良的造纸原料，建筑材料）等优点。因此，芦苇人工湿地比其它植物人工湿地在污染物的去除、系统投资、运行管理、综合利用等方面具有更为突出优点。

3 芦苇湿地的类型及应用

从水力学角度划分，芦苇床人工湿地分为地表流湿地、潜流湿地和垂直流式地三种类型。

地表流湿地系统也称水面湿地系统。在地表流湿地系统中，水位较浅，多在0.1~0.6 m之间。其特点是湿地表面经常保持均匀的薄水层，处理单元具有4%~5%的坡度，使污水沿床表面流动，在水面与空气之间可发生快速的气体交换，水体中氧气来源主要是污水流动时空气中氧气扩散，芦苇根也能传输部分氧气。污水中的绝大部分有机污染物的去除是依靠生长在芦苇水下部分的茎、秆上的生物膜来完成的。因而这种系统难以充分利用生长在填料表面的生物膜和生长丰富的植物根系对污染物的降解作用，其处理能力较低。同时，这种湿地系统的卫生条件较差，易在夏季滋生蚊蝇、产生臭味而影

响湿地周围的环境,在冬季或北方地区则易发生表面结冰问题及系统的处理效果受温差变化影响大的问题,因而在实际工程中应用较少,但这种湿地系统具有投资低的优点.

潜流湿地系统也称渗滤湿地系统.在潜流湿地系统中,污水在湿地床的内部流动,因而一方面可以充分利用填料表面生长的生物膜、丰富的植物根系及表层土和填料截留等的作用,以提高其处理效果和治理能力,使该类系统处理效率较高,特别是对氮、磷等物质的去除率较高;另一方面则由于水流在地表以下流动,故具有保温性较好、处理效果受气候影响小、卫生条件较好的特点.是目前研究和应用比较多的一种湿地处理系统.但这种湿地系统的投资要比地表流系统高些^[10].在潜流湿地中,其氧的供给,更多的是依靠水生植物的泌氧功能.芦苇的泌氧功能比许多水生植物的要高,因此,采用潜流芦苇湿地是有利于提高系统处理效率.地下潜流芦苇湿地在欧洲应用较多,有几百座.在丹麦、德国、英国每个国家都至少有200个系统在运行^[13].

垂直流湿地系统的水流综合了地表流和潜流湿地的特性,水流在填料床中基本上采用由上向下的垂直流,水流流经床体后,被敷设在出水端底部的集水管收集排出处理系统.垂直流芦苇湿地具有高的净化效率和相对较小的土地需求.垂直流芦苇湿地在欧洲许多地方投入运行已有几十年.系统至今未广泛使用是因其需要更细致的建设和介质选择.吴振斌^[18]等通过垂直流人工湿地试验,表明垂直流人工湿地在冬季仍能较好地改善水质,是一种有效的水处理技术,对水体水质改善和水生态系恢复具有重要意义.

4 复合芦苇床

不同的植物对营养物质的吸收是不同的,水生植物对污染物质处理能力各有所长,如灯心草能处理污水中的氯化烃、氰化物、酚,去除病原体;宽叶香蒲能去除有机、无机污染物,吸收铜、钴、镍、锰及氯化烃,根部能分泌天然抗生物物质,降低污水中的细菌浓度,去除病原体;水葱能在含酚量600 mg/L的污水中迅速生长,每100 g水葱经100 h可净化酚200 mg,两周内可使食品工业废水的BOD降低60%~90%.大米草可吸收污水中80%~90%的氮、磷^[19].利用各种水生植物对污染物的去除特点,使

芦苇与其他植物搭配组成的复合床,有利于污水中各种污染物质的去除.

清华大学段志勇^[19]等通过人工湿地栽种不同水生植物的各床体的COD去除效果比较实验和不同水生植物复氧性能比较实验,得出复氧性能最好的水生植物为芦苇,然后综合实验结果,在传统的植物床系统基础上,提出更加有利于提高系统污水处理效率的改进形式:复合植物床式人工湿地,如芦苇-茭草搭配的复合植物床式人工湿地的综合净化效果优于单一植物床人工湿地.吴振斌^[18]等报道芦苇-水葱的组合的垂直流人工湿地系统除磷效率及稳定性均高于无植物对照.胡焕斌等^[20]采用芦苇-池杉的组合床处理武钢大冶铁矿炸药车间排放的含氮污水,达到较好的处理效果.Martin M. Karpisak^[6]等采用芦苇-香蒲组合人工湿地处理污水,并将处理后的水用于农作物灌溉和畜棚冲洗等.

5 芦苇床新型填料

芦苇床填料的作用是十分显著的,湿地系统成熟后,填料表面将由于大量微生物的生长而形成生物膜将废水中有机污染物去除.不同的填料结构和成分,形成不同的渗流能力和净化机理,对人工湿地的净化与处理能力有明显的影响.如对含磷和重金属离子废水,含钙、铁、铝等成分的填料有利于离子交换,有利于对磷和重金属离子的去除.填料在湿地建设费用的比例最大,可达到50%~60%^[21],为了进一步提高芦苇人工湿地的污水处理效果,人们开展了填料的研究.

人工湿地床对填料的要求是:①有良好的吸附性能,有利于生物膜的生长和对污水中有机物的吸附;②有良好交换性能,以利于处理含磷和重金属离子废水;③有利于生物膜的更新,防止填料发生堵塞;④价廉.传统芦苇湿地所用的填料以砂、砾石、碎石为主,但这些填料的吸附、交换性能、防止填料发生堵塞性能不够理想.近年来,人们提出了一些新型填料.李德生^[22]、李旭东^[23]等提出采用沸石为芦苇湿地的填料明显优于砾石.沸石是一种天然矿物,是一种架状结构的多孔穴和通道的硅铝酸盐,在我国分布广、储量大,较易开采,有良好的吸附、交换性能,是理想的生物载体.沸石是人工湿地床理想的填料,沸石在挂膜方面和吸附、交换性能方面优于砾石,尤其在除氮方面明显优于砾石床,

实验表明,在同样的进水水质和水力负荷下,沸石床对总氮、氨氮、硝酸盐氮去除率比砾石芦苇床分别高 28%、67%、35%^[23]。

6 芦苇人工湿地存在的问题

虽然芦苇人工湿地得到了广泛的应用,但系统中还存在不少的问题。如不精确的设计运行参数、生物和水力复杂性及对重要工艺动力学理解的缺乏、易受病虫害影响、缺乏长期运行系统的详细资料以及基质堵塞和芦苇衰退。目前国内外关于芦苇人工湿地堵塞和芦苇衰退的研究还很少,人工湿地堵塞和芦苇衰退,还没有很好的恢复对策。研究影响芦苇人工湿地堵塞和芦苇衰退的因素及避免堵塞和芦苇衰退的措施是进一步发展芦苇人工湿地亟待解决的问题。

芦苇衰退的问题已经引起人们的关注。芦苇人工湿地起步较早的欧洲,芦苇普遍存在着衰退现象^[24]。引起芦苇衰退的因素很多,如水质和基质的组成、水位的高低、气候及富营养状态等。Amstrong 等认为植物体腐烂、超负荷有机污染物冲击或富营养化等产生的植物毒素(如有机酸、硫化物等)在芦苇组织中的富集是引起芦苇衰退的主要原因之一^[25]。

系统基质的堵塞是湿地中出现的另一个严重问题。系统堵塞造成系统水流不畅,极易造成下行池表面严重滞水。这一积水层阻碍了空气中的氧气进入基质层,使系统的好氧微生物活性降低,因此堵塞后对 BOD₅、COD 去除率下降。同时,由于堵塞导致填料表面积水,使得蚊蝇更容易滋生,卫生条件恶化。德国柏林大学的 Christoph Platzer 和 Klaus Mauch^[1997]综述了垂直流芦苇床堵塞的机理、参数和后果^[26],认为污水浓度比总有机负荷对堵塞来说更为重要。詹德昊^[27]等通过示踪剂对小试和中试复合垂直流人工湿地系统堵塞前后的水力特征进行了研究。结果表明,堵塞后出水流量减小,小试系统实际停留时间由堵塞前 21.3 h 延长至 32.5 h,中试系统实际停留时间从 19.4 h 延长至 26.8 h。

7 结束语

从 1987 年天津环保所建成我国第一个占地 6 hm² 处理规模为 1 400 m³/d 芦苇人工湿地起,迄今在我国北京、南京、深圳、成都、沈阳、杭州等地从南

到北,已有不少城市建立了芦苇人工湿地污水处理系统。这些系统运行以来,产生了良好的经济和社会效益,为我国环境保护做出了贡献。在欧洲等发达国家,每个国家都有几百个人工湿地系统在运行^[13];美国在 1988 年至 1993 年间就建起了几百个人工湿地系统^[28],绝大多数系统种植有芦苇,此技术还在快速发展。相比之下,芦苇人工湿地在我国的发展速度比较慢。芦苇人工湿地投资少,出水水质好,操作简单,维护和运行费用低廉,有很好的经济价值,芦苇在我国又普遍适应生长。在我们这样地域辽阔、经济、技术发展水平不高、能源短缺的国家,研究并大力推广芦苇人工湿地污水处理技术具有非常重要的意义。芦苇人工湿地污水处理技术使人们向污水处理的终极追求目标逼近,即:污水处理的低投资—低运行费用—低维修技术—高处理能力—高观赏性—高社会效益。芦苇人工湿地污水处理技术在我国必然有极其广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Cooper P. and Green B. Reed bed treatment systems for Sewage treatment in the UK—the first 10 years experience [J]. Wat. Sci. Tech, 1995, 32 (3) :317—327.
- [2] Thomas, P. R. An evaluation of pollutant removal from secondary treated sewage effluent using constructed wetland system [J]. Wat. Sci. Tech, 1995, 32 (3) :87—93.
- [3] Gersberg, R. M. etl. Role of aquatic plants in waste water treatment by artificial wetlands [J]. Wat. Res, 1986, 20 (3) :363—368.
- [4] J. B. Williams, D. Zambrano, M. G. Ford, E. May, J. E. Butler. Constructed wetlands for waste water treatment in Colombia [J]. Wat. Sci. Tech, 1999, 40(3):217—223.
- [5] Richter KM, Margetts JR, Saul AJ, Guymer I, Worrall P. Baseline hydraulic performance of the Heathrow constructed wetlands subsurface flow system [J]. Wat. Sci. Tech, 2003, 47 (7):177—181.
- [6] Martin M. Karpiscak, Robert J. Freitas, Charles P. Gerba, Luis R. Sanchez, Eylon Shamir. Management of dairy waste in the sonoran desert using constructed wetland technology [J]. Wat. Sci. Tech, 1999, 40(3):57—65.
- [7] 张桂萍,栗建华.植物在环境保护中的作用.晋东南师范专科学校学报,2002,19(2):35—36.
- [8] 王庆安,任勇,钱骏,张秋劲.成都市活水公园人工湿地塘床系统的生物群落 [J].重庆环境科学,2001,23(2):52—55.
- [9] 孙权,郑正,周涛.人工湿地污水处理工艺 [J].污染防治技术,2001,14(4):20—232.

- [10] 王宜明. 人工湿地净化机理和影响因数探讨[J]. 昆明冶金高等专科学校学报, 2000, 61-6.
- [11] 李科德. 芦苇床系统净化污水的机理[J]. 中国环境科学, 1995, (2): 140-144.
- [12] 沈耀良, 王宝贞. 废水生物处理新技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社.
- [13] 白晓慧, 王宝贞, 余敏, 聂梅生. 人工湿地污水处理技术及其发展应用[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1999, 32(6): 88-92.
- [14] 诸惠昌. 用人工湿地处理乳制品废水的研究[J]. 环境科学, 1996, (5): 30-31.
- [15] 吴振斌, 陈辉蓉, 雷梅梅, 等. 人工湿地系统去除藻毒素研究[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(2): 242-247.
- [16] 蔡满成, 杨颖. 污水人工土壤植物床处[J]. 给水排水, 2002, 28(9), 14-19.
- [17] 籍国东, 孙铁珩, 隋欣, 常士俊. 落地原油对芦苇湿地生态工程净化系统影响[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 649-654.
- [18] 吴振斌, 成水平, 贺锋, 付贵萍, 金建明, 陈辉蓉. 垂直流人工湿地的设计及净化功能初探[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 715-718.
- [19] 段志勇, 刘超翔, 施汉昌, 黄霞, 胡洪营. 复合植物床式人工湿地研究[J]. 环境污染治理技术与设备. 2002, 3(8): 4-7.
- [20] 胡焕斌. 人工湿地处理矿山炸药废水[J]. 环境科学与技术. 1997, 3.
- [21] USEPA. Subsurface flow constructed wetlands for waste water treatment [M]. A Technology Assessment, 1993.
- [22] 李德生, 黄晓东, 王占生. 生物沸石反应器在微污染水源水处理中的应用[J]. 环境科学, 2000, 21(5): 71-73.
- [23] 李旭东, 张旭, 薛玉, 李广贺, 张荣社. 沸石芦苇床除氮中试研究[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 159-160.
- [24] Hartog CD, KevtJ, Sukopp H. 1989. Reed. A common Species in decline, Aquatic Bot, 35: 1-4.
- [25] 成水平, 吴振斌, 况琪军. 人工湿地植物研究[J]. 湖泊科学, 2002, 14(2) 179-184.
- [26] Platzer C, Mauch K. Soil clogging in vertical flow reed bed—mechanism, parameters, ... consequences and ... solutions. . . Wat [J]. Sci. Tech, 1997, 35: 175-181.
- [27] 詹德昊, 吴振斌, 张晟, 成水平, 傅贵萍, 贺峰. 堵塞对复合垂直流湿地水力特征的影响[J]. 中国给水排水, 2003, 19(2): 1-4.
- [28] 安树青. 湿地生态工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.

Study Advance in Treatment Technology of Reed Constructed Wetland

WANG Quan-jin, CHEN Dong

(School of Civil Eng. and Arc., East China Jiaotong University, Nanchang 330013 China)

Abstract: This paper describes classifications and characters of the reed constructed wetland wastewater treatment technology and advances of study and application on domestic and abroad in this filed. New technologies for composite reed bed and new types of reed bed filling are introduced. It points out that system clogging and reed decay are key problems to be solved for further development of reed constructed wetland.

Keywords: reed; constructed wetland; wastewater treatment