

河流治理与修复工程技术模式研究进展

董立新¹, 王亚伟², 白昊阳¹, 彭 舰³, 陈梅雪², 魏源送²

(1.天津市水利科学研究院, 天津 300061; 2.中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;
3.美国加州橙县流域管理局, 奥兰治市 92865)

摘要:我国“十三五”期间将开展大量河流修复的工程应用,但目前河流修复工程方案主要从治理技术的应用出发,对修复模式的考虑较少。文章综述了国内外关于河流水质改善的研究和工程报道,总结了在治理河流有机污染与营养盐污染中常用的在线和离线治理工程构建模式,为河流修复工程的设计和 implementation 提供参考。

关键词:水质改善; 河流修复; 工程模式

中图分类号: X522

文献标志码: A

DOI:10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2017.02.002

Progress in the Study of the State-of-art for River Remediation and Restoration

Dong Lixin¹, Wang Yawei³, Bai Haoyang¹, Peng Jian², Chen Meixue³, Wei Yuansong²

(1.Tianjin Academy of Hydro Science, Tianjin 300061, China; 2.Orange County Watershed Agency of California, Orange City, 92865, the U.S.A.; 3.Research Center of Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China)

Abstract: A large number of river restoration research and projects will be carried out during the 13th Five-Year plan of China. The published papers are mainly focused on the remediation technologies and there is a lack of reports on the restoration modes. In this paper, the current reports on river restoration researches and engineering projects at home and abroad are reviewed and the on-line and off-line restoration engineering modes commonly used in control of organic and nutrient pollution in rivers are summarized, providing reference for design and implementation of river remediation engineering projects.

Keywords: Water Quality Improvement; River Remediation; Engineering Mode

CLC number: X522

河流与人类社会和生活有紧密的联系,为人类提供宝贵的自然资源^[1]。从世界范围来看,城市化给河流健康带来了大量负担。在人口密集的城市,河流污染问题更为突出、严重,最关键的影响因素是流域内的人口数量和社会发展水平^[2]。美国有54.9%的河道由于污染而登上了清洁水法303(d)名单,受污染河段的25.2%直接受城市化的影响(雨水径流、污水、建筑工地和厂矿企业),而受到城市化间接影响的可能接近半数^[3]。我国自改革开放以来,虽然经济快速发展,但环保基础设施投资的欠账较多,河流污染形势严峻。河流超标因子以氨氮、高锰酸盐指数和五日

生化需氧量为主^[4]。随着《水污染防治行动计划》的出台和实施,河流治理的形势出现了重大转机,例如,我国将在十三五时期大力治理和修复城市污染河流,尤其是消除“黑臭水体”。近年来我国河流治理与修复技术的报道不断涌现,但集中于河流水质改善技术的介绍^[5-7]。但流域综合治理集成技术亟需从河流修复模式、修复技术的组合及其选用等方面入手,但这方面尚缺乏全面的研究报道。

国内外河流治理的实践可归纳为源头治理、末端治理模式,其中源头治理模式是解决河流污染问题的根本途径。污染河流整治模式(图

收稿日期: 2017-02-21

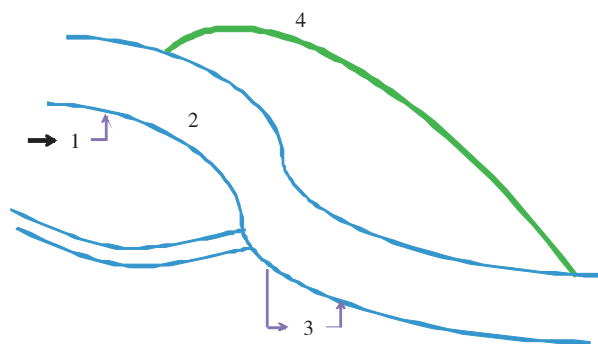
基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07203-002, 2015ZX07203-005, 2014ZX07510-001)基金资助

作者简介: 董立新(1977-),男,高级工程师。研究方向:水资源调配利用,河流、湿地水质改善。

通信作者: 魏源送(1969-),男,研究员。研究方向:河流生态修复、污水处理与回用、有机固体废弃物资源化处理。

E-mail: yswei@rcees.ac.cn

1) 主要受到污染成因、污染程度、修复技术及其成本等因素的影响。因此, 河流修复和河道治理工程应依据目标确定治理模式, 从河流现场条件出发, 因地制宜, 选择合适的模式与技术。



1.尾水深度净化; 2.在线治理; 3.离线治理; 4.旁路离线河流净化器

图1 河流治理工程布局示意图

综上所述, 针对目前我国河流污染现状与特征及其修复的需求, 本文通过文献调研, 综述目前国内外河流治理与修复的技术与模式, 总结以物理、化学、生物、生态、水利等方法为主的河流治理与修复技术的研究进展与应用, 重点总结工程治理模式中的引水方式, 分析河流治理的模式与技术, 并提出河流修复工程的实施路线图, 以期为我国污染河流的生态治理和恢复提供有益借鉴。

1 河流治理与修复简介

河流源头治理包括雨水径流污染控制、农业面源污染控制、点源污染控制(如纳管截污、提高污水排放标准)、尾水深度净化等技术与管理模式, 目前国内外对此已有较多的总结。首选的源头治理其主要对象主要是点源、面源或者内源的治理。美国依据每日最大排放量(total maximum daily loads, TMDL)规范开展污染源识别与排放源控制。当污染点源达到BPT(Best Practical Technology)或BAT(Best Available Technology)的排放许可证要求后, 如果河流水质依然无法达标, 那么将依据TMDL规范和基于受纳水体水质达标的排放限值(water quality-based effluent limitation, WQBEL)发放排污许可证, 继续进行点源面源污染负荷削减任务的分

解, 并将各种措施和计划认真执行, 才能让受纳水体最终达标。以美国加州的Malibu河为例, 其营养盐TMDL的严格要求致使排水单位需将出水经过RO处理, 方能满足TMDL对硝酸盐控制的需求。因此, 我国可借鉴TMDL体系, 按照一河一策的原则, 从实际情况出发, 有望实现达到治理目标前提下整体资源投入的最小化。

末端治理属于被动的应对措施, 因为污染物排放至水体环境后, 呈现浓度低、水量大、施工难度大等特点, 经济上并非最佳方案。但在河流流域内人口、产业等因素在短期内难以做出重大调整, 面源污染难以有效控制的背景下, 可通过强化河流的自净能力或者人工强化河流中水污染物的去除能力来改善河流水质。人工强化的在线、离线的河流治理模式是目前研究人员和工程人员关注的主要手段, 在我国现阶段具有较高的实用价值和可操作性。河流末端水质改善技术在跨境、跨界断面具有更为迫切的需求。

2 河流在线治理模式

污染河流治理工程的重要影响因素包括河流的流量和目标污染物浓度, 这两者一同决定了污染负荷; 治理河段的水力停留时间, 决定了修复工程的最低污染去除效率; 土地的占用, 决定了处理的成本和可选择的工艺。在工程治理模式中主要分为在线和离线处理两类, 区别在于污染物降解是否发生在河道岸堤或者开口线以内, 是否占用土地。这些基本因素可以用式(1)表示:

$$(c_i - c_d) \times Q_s = R \times V \times T \quad (1)$$

式中: c_i 为水质现状污染物浓度(mg/L); c_d 为水质目标(mg/L); Q_s 为河水流量(m^3/s); R 为去除效率(g/d); V 为处理设施规模(m^3/d); T 为水力停留时间(d)。

河流在线治理是指在河道中运用工程技术措施, 通过原位生物/生态修复技术在河道内强化微生物对河水中污染物的净化作用^[6], 实现河流水质改善、水生态体系恢复的目的。由于具有成本低、水质适应性强、效果好的特点, 河流在线治理是一类可靠、有效的河道水体净化修复技术, 主要适于污染严重、流量较小的河流治理与

修复。在线治理技术可作用于河岸、河床、水体等不同工程部位,应用时需要考虑河流自然地理特点(河道地形、护岸护脚形式等)、污染特征(主要污染物类型、污染程度等)、河流水文特征(河道流量、洪水枯水比例、污径比、水位等),并按照修复目标选择适宜的修复技术。基于河流水质净化与改善的机理,河流治理与修复技术主要包括了水利、物理、化学、生物和生态等学科以及多学科的交叉,所以,按其所属领域,常用的河流治理与修复工程措施可分为水力工程、环境工程、生态工程等技术,并均有一定的适用范围,需要在实际工程中统筹考虑和合理配置,使之通过协同作用提高河流治理与修复效果。这种治理模式主要分为涉及河流断面改造的工程模式和非工程改造模式。

文章认为河流治理需要重点考虑去除污染物的容积负荷以及功能河段污染负荷。目前在河流治理技术报道中,最受到关注的是污染物去除效率(式1),据此说明技术优劣,但应用该参数时一定要结合污染物浓度、水力停留时间等参数评价处理技术的效用。例如,在长时间、低污染负荷条件下的污染物去除率90%,并非意味该处理技术效果优于其他河流中70%的净化方案,方案比选应该同时结合污染物去除负荷进行评估。在成本和效益分析中均应该考虑经济、环境和社会效益多方面因素,最优化的方法应当是综合成本效益比值最佳的方法。

2.1 基于河岸的处理模式

在河流修复中,河岸的主要治理模式是护坡工程。在对水质改善的贡献方面,研究人员已经开始开展了一些探索研究。例如作为护坡材料的生物混凝土是一类特种混凝土,其内部具有大量的连通孔,依靠大孔混凝土的物理、化学及生物化学作用,达到净水作用,然而基于吸附过程的工艺存在吸附饱和或者填料堵塞等问题^[8],但在载体表面生长的生物膜对水质改善有长期作用。韦余广等^[9]将河岸进行改造为人工湿地,并从湿地植物去污能力、抗逆性、生态美学价值以及经济价值四方面入手,综合评价认为,美人蕉与水葱组合的综合效益最优,且人工湿地对河道水流

的影响均较小。

2.2 基于河床的处理模式

因为微生物容易附着在河岸以及河床生长,并且反硝化菌一般喜好低溶氧、水流慢的河段,所以河段断面、流量、流速以及其他生物地球化学因素都会影响有机物和营养盐的去除。Peterson等发现微污染水的流量与氨氮吸收速率成正比关系^[10]。密西西比河的研究表明,支流中水深对硝酸盐氮的削减起到了重要作用^[11]。对于流量较大的干流(例如大于10 m³/s)可从支流(乃至污染源)治理做起,研究人员据此开展了河床改造、强化有机物和营养盐去除的工程研究,例如Kaushai等^[12]发现河流经过断面改造后,每克沉积物的反硝化速率从34.86提升至77.4 μgN/kg·d。如果重点是去除氨氮和增加溶解氧^[12],有研究利用河道构型形成薄层流以强化自然富氧过程,例如通过构建高宽/深比的浅层水体强化河流富氧,以及天然河道中水跃形成及其河水富氧的关系。基于河道水利特征的重力为动力的富氧方式具有费用低的优势,可应用流量较小的河流。

在强化微生物作用方面,生物填料法具有不受透明度、光照等限制的等优势。在保持河道通航和排洪等原有功能以及不影响城市景观的基础上,通过在河道内布设合理的填料,强化微生物的水质净化能力,可显著降低河流的水体浊度,并可去除河水中COD、N和P等污染物,提高水体的溶解氧,所以,充氧-生物接触氧化法是一种具有广泛适用性的河流治理与修复技术,其中常用填料有砾石、束状纤维、活性炭等生物亲和性材料^[13]。砾间接触氧化法是应用较为广泛的技术,属于接触氧化法,存在净化效率高,不足是易堵塞^[14]。吴昊^[15]比较了砾石河床与普通土壤河床的脱氮效果、水力条件变化对砾石河床脱氮效果的影响,发现启动阶段人工填料砾石对氮的吸附是氮从水中被去除的主要原因,而运行稳定后反硝化成为砾石河道TN去除的主要途径。“高流速,低水深”情况下,TN的去除效果最好。断面强化措施的实施可为后续的高等水生动物/植物的河流生态修复创造有利的前提条件^[16-17]。

2.3 基于水体的处理模式

该模式的主要思路是通过物化方式或者强化微生物和植物的作用以去除水体中的污染物。物化方式可直接去除污染物,例如混凝沉淀或者吸附材料去除,增大有机质和营养盐的代谢通量。在线治理的一个主要优势是可满足应急需求,采用物理-化学方法进行河流治理,具有效果明显、处理速度快、适于处理突发水污染状况,主要应对紧急水污染事件,诸如藻类爆发。针对营养盐污染以及相应的藻类爆发的防控方法主要是机械除藻和絮凝沉淀^[18]。机械除藻对快速控制蓝藻水华污染,有效降低内源氮、磷等污染物负荷具有十分重要的作用。絮凝沉淀技术对于控制河流内源磷污染,特别是短期内控制底泥磷的释放有一定效果,极为适合快速应对诸如蓝藻爆发等紧急状况,但对沉积物表层有潜在影响。上述在线治理方法的不足之处在于处理维护过程中能耗、物耗较高,而且没有强化河流的自净能力,不利于长期运行。在线治理必须考虑到维护、投加菌剂/絮凝剂的流失问题,因此,该类技术主要适于污染源不是连续输入的应急措施,或者水力停留时间较长(类似断流)的河流^[6]。化学除藻是控制藻类生长的快速有效方法,如投加铁盐、铝盐,但会造成二次污染,危害鱼类、水草等生物,应用场合受限^[19]。

强化微生物和植物的作用主要包括增加其数量,或者优化其生存环境,例如人工富氧等措施。在应对中重度污染时,河道曝气可以快速增加河水中的溶解氧、迅速消除黑臭现象、提高有益微生物浓度或者活性。增加河水中溶解氧含量的技术可采取诸如鼓风曝气、机械充氧、射流等形式,并可利用电能、风能、太阳能、河流动能与势能等形式向河水增氧,投资和能耗是该类技术成功应用的关键^[20]。针对有机物的常见方法有投菌法,适合于河流净化的微生物主要有硝化菌、光合细菌等,优势是见效快,商业化产品较多。但效果持续性,以及保持在本土菌种中竞争优势,不被淘汰是难点。水质净化工程常采用的水生植物包括沉水、挺水、浮水植物等,工程中

可采用人工补植、人工浮床、浮岛等生态措施^[21]。浮体上栽培的水生植物,通过植物根系和根系上微生物的作用,直接从水体中吸收营养物质及其他污染物,达到净化水质、改善局部水体环境、抑制藻类生长的目的。人工浮岛具有净化水质、削减风浪、美化水面景观、提供水生生物栖息空间等多种功能,其建设、运行费用较低,具有很大的发展潜力,是经济高效、符合可持续发展要求的生物/生态技术。但该类技术不足之处在于生物量小,去除能力不高,要求水力滞留时间较长、时间效率和污染负荷去除较低,适用于小流量的河流或靠层级水闸回水形成的河段,难以应用于具有防洪功能的主干河流和泥沙含量高的河道,并且冬季腐烂会重新带来污染^[22]。

在线处理措施在洪水通过期间,存在水力条件不稳定、淤塞、构筑物易损坏、处理效率低以及维护较难等问题。例如,温榆河的峰值流量和年均流量比例为1000:1,莱茵河是2000:1^[23],所以干流中的在线处理措施往往难以在时间上得到延续,诸如投菌,水生植物种植,生物飘带以及生物浮床技术都必须经历汛期的考验,这对施工的固定化技术手段都提出了较高的要求。

3 河流离线治理模式

河水中污染物的高效去除,需要强化原有河流中的生物地球化学过程,甚至需要额外创造条件进行更为高效的去除。离线治理模式是指通过管道、引水渠等工程措施将河水引至河岸的污水处理工程或生态处理设施中处理河水,再将净化后的河水排入河道。离线治理模式具有条件可控的优势,例如温度,水量,流速等可保持在设计范围内,避免了河流中的不确定因素,并可应对汛期洪水。从空间上来讲,离线治理模式水污染物的主要去除场所是以河道的岸堤为界,或者以复式断面的水线为界(主要指漫滩的利用),通过在河道附近构建引水工程,将高污染河水引入临近的处理设施进行集中处理,再将净化后的河水回流至河道或者回用于适当的生产与生活之中。

3.1 河道堤岸湿地

通过强化河流岸坡内的生物地球化学和水文过程调节,强化污染物向转化热点区域的运动,可减轻污染物对水质的影响。依靠地貌特征,例如河汊、牛轭湖^[24]等水生态特性,重构生物栖息地和生态廊道是常用的河流离线处理技术,它利用旧河道形成牛轭湖来构建人工湿地。在平原地区的河流,随着流水对河岸的冲刷和侵蚀,河流弯曲程度加剧,最终自然改道,原有河道形成废

弃的湖泊,即为牛轭湖,牛轭湖的外侧由于流速降低,大量泥沙淤积形成缓坡摊面,为构建牛轭湖湿地形成了良好的基础。段亮等^[25]在辽河流域巨流河通过橡胶坝构建了36.93 km²的大型牛轭湖湿地,通过自然封育和水生植物引进、恢复,引导牛轭湖形成生物链的生态湿地系统,经过湿地净化系统,使得出水达到IV类标准。漫滩型湿地结构见图2。

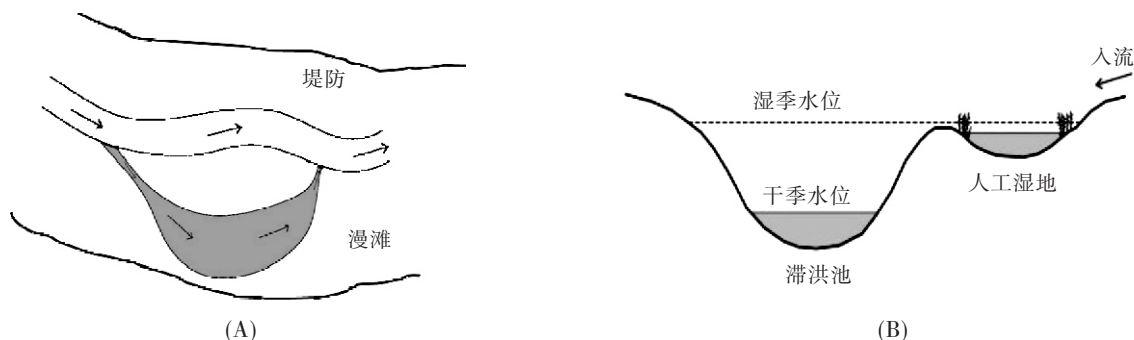


图2 漫滩型湿地结构

图2是堤岸内离线处理措施的两种常见形式,吴建强等^[26]通过构建于新沂河河漫滩上的表面流人工湿地系统处理污染河水,其水力负荷为0.1 m/d,中试结果表明,在COD_{Mn}和NH₄⁺-N进水浓度分别为11.69~60.00和1.37~20.18 mg/L时,种植千屈菜、美人蕉、香蒲、水葱4种不同植物的表面流人工湿地系统对COD_{Mn}的平均去除率分别为26.44%~46.71%、28.23%,对NH₄⁺-N的平均去除率分别为58%, 52%, 70%, 49%。在人工构建的漫滩湿地中,其中香蒲和美人蕉的净化能力较强,水葱的耐淹能力最好。王朝旭等^[27]对北运河上游调研了岸边带湿地的作用,天然河流岸边带湿地系统对河水中NH₄⁺-N、TN、TP有明显的削减作用,分别从河水中的27.0、29.0、1.82 mg/L降至2.50、6.54、0.12 mg/L。与裸露型岸边带相比,植被型岸边带更利于营养元素的去除。作为工程实例,模拟天然河流岸边带湿地的罗马湖旁路离线人工湿地系统对水体营养元素氮磷有显著的去作用。

受潮汐影响的河流(图2B),涨潮时蓄水,退潮时水留在处理单元内,至再次涨潮时释

放,对于强化污染物转化是重要的过程^[28]。

3.2 岸外处理设施模式

出于提高水力停留时间以及布设强化措施的考虑,在河流堤岸外设置处理单元是工程上常用的措施。人工湿地,尤其是具有较高去除效率的潜流式人工湿地,其建设需要满足一定要求,通常建设于在河道岸边带,属于离线处理方式,引水至独立修建的潜流湿地,其中布设方式主要有四种见图3。

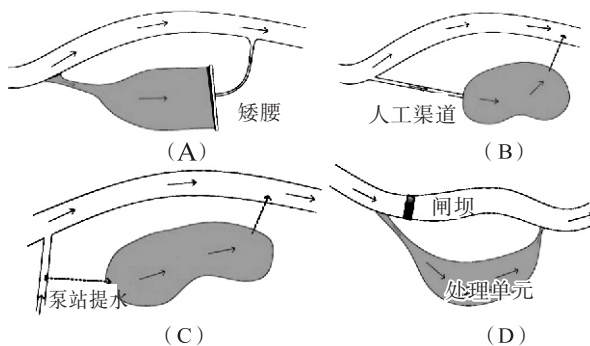


图3 典型河流离线处理单元布设方式

①河滨滩地分流矮堰型,以矮堰在河滨滩地上蓄水,成为人工湿地,水质净化后再排入河流。②河滨滩地分流型,利用河水的分流,直接在河道滩地或河滨滩地上,重力引水进入人工湿

地。③河滨滩地重力引水型,在河滨高滩地上以明渠或暗管,用重力方式将一部分河水引入人工湿地净化后再排入河流。④干流闸坝蓄水,建设在河道支流,通过闸坝形成回水,通过水位差给处理单元供水。

刘文俊等^[29]在丁山河治理工程中,在河道设橡胶坝拦截,受污染河水经泵站提升进入河道旁路净化处理系统工程(设计规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$),采用生物接触氧化-人工湿地深度处理组合工艺净化处理后回补河道。该系统耐冲击负荷能力强、处理能效好,出水水质基本达到地表水Ⅴ类标准,保障了下游水体水质安全。

泵站提水,在河滨高滩地上以水泵自污水排入的水路上抽水,流经人工湿地净化后再排入河流也是主要的处理方式。美国加州橙县的San Joaquin湿地工程中^[30],每日从河道提升 $9\,000 \text{ m}^3$ 河水进入岸边的人工湿地进行处理,净化后水的硝氮含量降低70%左右,排回San Diego河后,有效保护了下游具有极高生态价值的新港湾(Newport Bay)。圣安娜河的Prado湿地将上游污水厂排放到河里的深度净化过的污水截流(每天约 $5\,000 \text{ m}^3$)到一系列45个连通的人工湿地进行处理,硝氮减少90%,保证了净化过的河水可以用来补充橙县的地下水盆地。人工湿地工程中可使用新能源作为提升动力来源,位于天津市宁河区的七里海湿地水体净化工程,采用了利用风力提水和泵站提水联合使用的方式,将津唐运河水体引至位于河道岸边的人工湿地和自然湿地内进行净化处理,再返回河道,净化处理后的水体可达地表水Ⅳ类标准。

离线处理设施的功能单元在工程上比较多见的是接触氧化工艺和人工湿地技术,例如日本在江户川支流板川边的古崎水净化场^[31],利用地理式卵石接触氧化法对河流进行处理。韩国在汉江支流良才川也开展了基于卵石生物膜的接触氧化工艺处理河水的工程^[16,32]。通过拦河橡胶坝(长18 m,高1 m)将河水拦截后引入带拦污栅的进水口,水流经过进水自动阀、污水管、污水孔墙,进入8座接触氧化槽(长20 m、宽13.6 m、高14.8 m),出

水排入橡胶坝下游侧。良才川水质生物-生态修复设施的BOD和SS的处理率为70%~75%。与上述日本古崎净化场相比,这种净化装置依据水头差提供动力,几乎不耗能,运行成本很低。此外,反应器技术也有工程报道,北京市已建成为当时为世界规模最大的MBR处理工程($10\,000 \text{ t/d}$),作为引温济潮奥运配套工程,用于河流水质净化^[33]。该MBR处理厂从温榆河引水,经处理净化后的温榆河水排入潮白河,改善了潮白河的水环境质量。

3.3 旁路离线河流净化器

旁路离线河流净化器利用自然地势地貌,将一部分主河道的水引入支流,把支流作为主干河道河水的水质净化系统。旁路离线河流净化器一方面离线处理外来客水,另一方面在线处理自身河道河水,通过不同离线-在线生物/生态技术的优化组合,控制和削减主干河道河水污染,逐步恢复河流水质功能^[34]。在旁路中可设置在线净化单元和嵌套离线单元,控制引水流量(占干流流量的0%~100%),这就为净化单元的选择和匹配留足了空间。

在北京温榆河旁路离线河流净化器工程中^[35],采用了3项关键技术:①塘-湿地组合水质净化技术,塘和湿地二者净化功能相辅相成,结构上互为耦合,呈串联形式链接,局部的湿地系统内部由若干结构单元串并联组合构成。塘系统主要发挥储存、滞留、沉淀、分流、预处理、生物稳定等功能,而湿地系统主要有过滤、吸持、分解、净化等功能。②拟自然河道水质净化技术,根据近年来提出的拟自然生态修复理念,结合温榆河主要支流河岸退化现状、水文情势、气候特征等,综合考虑河流的防洪、蓄水、水质净化、亲水、景观美化、生物多样性维持等多方面的功能,采用了拟自然河床和拟自然河岸生态修复的关键技术。③河道内沉水植物群落重建技术,选择合适的先锋物种,通过人工移植手段在支流恰当的河段少量种植水生植物,同时采取人工调控措施,营造适宜于水生植物生长发育的条件及水质净化效果。

离线处理技术可选用成熟的生态工程手段,如人工湿地、氧化塘、塘-湿地、土壤渗滤、人工湿地型河道等处理技术。人工湿地技术包括表流湿地和潜流湿地技术,它的净化过程是物化、生物等多方面综合作用的结果^[36],是比较成熟可靠的污染物去除技术,研究比较完善,也是工程应用中最为广泛的技术,属于一种建造及运行费用低、处理效果好的工艺。位于台湾高平的旧铁路桥人工湿地^[37]是很好的旁路离线河流净化模式工程范例。

基于旁路离线河流净化器的概念,河网模式(闸联合控制)也是针对南方河网地区的有效处理模式。我国东南沿海地区河网密布,典型如崇明岛河网^[38],上海金山区河网^[39],通过泵闸自动化控制系统,廊下镇实现了对全镇主要河道的实时在线监控和启闭管理。通过改造不同的河段,在某一河段作为处理主体,通过闸门控制河水进入处理单元进行净化将是一种有前景的处理模式。

4 研究展望

河流治理模式需要依据修复目标及现场条件综合制定见图4。

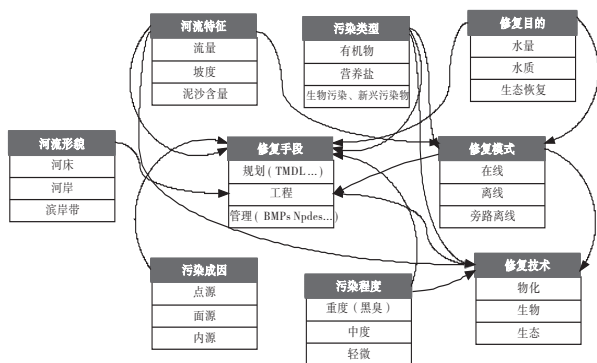


图4 影响河流治理模式的关键因素

河流修复工程中,相互吸取优点的改进系统和复合系统已经越来越受到重视^[40]。模式的选取主要依据规模和运行成本而定,并综合考虑生态方法,使之具有一定的美学价值,从而在能处理的范围内易于被相关方面认可,实现河流水生态环境质量改善。因此,河流修复治理与修复方案需因地制宜选择适用技术,满足时空变化条件下的河流治理与修复等多种需求,同时考虑到河流

治理技术的有效性、长效性、经济性和生态相容性。所以,今后河流治理与修复模式的研究应加强如下主要方面的研究与应用:①开发多种组合技术的工程辅助设计模型,综合考虑目标河段的特有水文水质特性,就各耦合单元的贡献进行量化研究,为不同适用技术的筛选提供科学依据;②开发低能耗、低占地的河流旁路离线治理模式;③从流域综合治理入手,优化组合河流治理与修复的在线与离线模式及其技术,满足不同治理与修复目标的需求。

参考文献

- [1]Meyer J L, Paul M J, Taulbee W K. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes[J]. Journal of the North American Benthological Society, 2005, 24(3): 602-612.
- [2]Walsh C J, Roy A H, Feminella J W, et al. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure[J]. Journal of the North American Benthological Society, 2005, 24(3):706-723.
- [3]USEPA. National Summary of State Information[EB/OL]. https://ofmpub.epa.gov/waters10/attains_nation_cy.control.
- [4]中国环境监测总站.2007中国环境状况公报[EB/OL]. [2007.12.31]. http://www.cnemc.cn/publish/totalWebSite/news/news_5103.html.
- [5]胡洪营,何 苗,朱铭捷,等.污染河流水质净化与生态修复技术及其集成化策略[J]. 给水排水, 2005, 31(4): 1-9.
- [6]董慧岭,强志民,李庭刚,等.污染河流原位生物修复技术进展[J].环境科学学报, 2010, 30(8):1577-1582.
- [7]温东辉,李 璐.以有机污染为主的河流治理技术研究进展[J].生态环境, 2007, 16(5): 1539-1545.
- [8]许 巍,袁 斌,孙水裕,等.城镇污染河流修复技术研究进展[J].广东工业大学学报, 2004, 21(4):85-90.
- [9]韦余广.河道人工湿地的构建研究[D].扬州: 扬州大学, 2007.
- [10]Peterson B J, Wollheim W M, Mulholland P J, et al. Control of nitrogen export from watersheds by headwater streams[J]. Science, 2001, 292(5514):86-90.
- [11]Alexander R B, Smith R A, Schwarz G E. Effect of stream channel size on the delivery of nitrogen to the Gulf of Mexico[J]. Nature, 2000, 403:758-761.
- [12]Kaushal S S, Groffman P M, Mayer P M, et al. Effects of stream restoration on denitrification in an urbanizing watershed[J]. Ecological Applications, 2008, 18(3):789-804.
- [13]周 勇,操家顺,杨婷婷.生物填料在重污染河道治理中的应用研究[J].环境污染与防治, 2007, 29(4):289-292.
- [14]Juang D F, Tsai W P, Liu W K, et al. Treatment of polluted river water by a gravel contact oxidation system constructed under riverbed[J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2008, 5(3):305-314.
- [15]吴 昊.砾石河床对水体中氮的去除效果试验研究[D].南京: 河海大学, 2006.
- [16]董哲仁,孙东亚.生态水利工程原理与技术[M].北京: 中国水利水电出版社, 2007.

(下转第61页)

4.3 完善企业污水处理设施的运行机制

园区多数企业在污水处理设施的维护和管理方面存在问题,不利于设施的正常运行。企业应根据其经济、管理水平等条件,因地制宜的采取邀请外部专家或委托专业运营管理等方式,找出存在的问题并整改完善,以保障污水处理设施的持续正常运行。

4.4 鼓励企业自主创新,转变发展模式

支持和鼓励企业采用先进适用的技术进行清洁生产,大力推广和应用节约资源的新技术、新工艺、新设备,形成推进清洁生产的良好机制。

4.5 提高企业中水回用率,减少污染物排放量

提高企业中水回用率是国家节能减排的一项重要手段,即减少了污染物的排放量,又可降低企业的运行成本。

4.6 加强宣传,提高企业的环保意识

通过宣传让企业认识到环境保护和污染治理是日常工作的重要组成部分,必须从“源头”上落实好环境保护工作,才能保证企业的可持续发展。

5 结论

(1) 管理部门、企业、综合污水处理厂及社

会公众等要素构成了农副产品加工园区管理体系。

(2) 管理部门对企业和综合污水处理厂进行监管;综合污水处理厂通过提供服务的方式与企业形成市场关系;社会公众通过舆论力量对管理部门和综合污水处理厂形成监督。

(3) 管理部门是园区管理体系的核心,管理部门可以通过调整园区产业结构、鼓励企业转变发展模式、提高中水回用率、加强监管等方式,为园区水污染控制管理增效。

参考文献

- [1]方伟,张昆,李攀,等.辽宁农产品加工业发展现状及建议[J].农业科技与装备,2010,7(193):15-17.
- [2]李天水,宋建群.辽宁农产品加工业趋势浅析[J].辽宁经济统计,2004,11:10-11.
- [3]祁金祥,宋伟.模糊数学评价法在蒲河水质评价中的应用[J].环境科学,2010,19:139-141.
- [4]于季红.沈阳市污水处理设施建设现状与前景分析[J].环境保护科学,2012,38(2):43-47.
- [5]单连斌.沈阳市污水资源化与综合利用的技术研究[D].沈阳:东北大学,2004.
- [6]陈秩,郑兴灿,唐运平.天津滨海工业园区节水控源减排技术集成与示范研究[J].给水排水,2013,39(5):9-14.
- [7]Jiao Y, Zhao Q L, Jin W B, et al. Bioaugmentation of a biological contact oxidation ditch with indigenous nitrifying bacteria for in situ remediation of nitrogen-rich stream water[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(2):990-995.
- [8]Egemose S, Reitzel K, Andersen F Ø, et al. Chemical lake restoration products: sediment stability and phosphorus dynamics[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(3):985-991.
- [9]徐大伟,施永生,柳伟,等.除藻技术的研究进展[J].云南化工, 2007, 34(3): 76-78.
- [10]Vallé B L, Pasternack G B. Submerged and unsubmerged natural hydraulic jumps in a bedrock step-pool mountain channel[J]. Geomorphology, 2006, 82(1-2):146-159.
- [11]Stone K C, Hunt P G, Novak J M, et al. In-stream wetland design for non-point source pollution abatement[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2003, 19(2):171-175.
- [12]Sun L P, Liu Y, Jin H. Nitrogen removal from polluted river by enhanced floating bed grown canna[J]. Ecological Engineering, 2009, 35(1):135-140.
- [13]沈秀珍,张厚玉,裴明胜,等.莱茵河治理与开发[M].郑州:黄河水利出版社, 2004.
- [14]Fink D F, Mitsch W J. Hydrology and nutrient biogeochemistry in a created river diversion oxbow wetland[J]. Ecological Engineering, 2007, 30(2):93-102.
- [15]段亮,宋永会,郅二铨,等.辽河保护区牛轭湖湿地恢复技术研究[J].环境工程技术学报, 2014, 4(1): 18-23.
- [16]吴建强,黄沈发,阮晓红,等.江苏新沂河河漫滩表面流人工湿地对污染河水的净化试验[J].湖泊科学, 2006, 18(3): 3.
- [17]王朝旭,祝贵兵,王雨,等.岸边带湿地对富营养化河流的净化作用研究[J].环境科学学报, 2012, 32(1): 51-56.
- [18]Vidon P, Allan C, Burns D, et al. Hot spots and hot moments in riparian zones: potential for improved water quality management[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2010, 46(2):278-298.
- [19]刘文俊,许振成,魏清伟,等.丁山河重污染河流水环境整治工程设计[J].中国给水排水, 2013, 20: 74-77.
- [20]IRWD. Natural treatment site: San Joaquin Marsh[EB/OL]. <http://www.irwd.com/services/natural-treatment-site-san-joaquin-marsh>.
- [21]董哲仁,曾向辉.受污染水体的生物口生态修复技术[J].水利水电技术, 2002, 33(2): 1-4.
- [22]北京市水利局水环境治理考察团.日本韩国的水环境治理[J].北京水利, 2003, 4: 30-32.
- [23]碧水源. 2008: 北京顺义引温济潮奥运配套工程[EB/OL]. <http://www.originwater.com/ywly/bhshj/szws/126.html>.
- [24]王亚伟,杜向群,郁达伟,等.温榆河氨氮污染控制措施的效果模拟[J].环境科学学报, 2013, 33(2): 479-486.
- [25]魏源送,王亚伟,王为东,等.一种旁路离线河流净化方法及净化系统[P].中国, CN102976546A. 2011.
- [26]Kivaisi A K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review[J]. Ecological Engineering, 2001, 16(4):545-560.
- [27]Wu H M, Li W J, Zhang J, et al. Application of using surface constructed wetland for removal of chemical oxygen demand and ammonium in polluted river water[J]. Desalination and Water Treatment, 2012, 44(1-3):142-150.
- [28]庞翠超,陶静,吴小慧,等.强感潮河网生态治理工程综合评价[J].人民长江, 2016, 47: 15.
- [29]冯李华.让“河道治理”到“河网治理”成为现实[EB/OL]. <http://www.dfxb.com/resfile/2017-02-21/A08/A08.pdf>.
- [30]李其军,廖日红,孟庆义,等.温榆河流域河流生态修复技术研究[M].北京:中国水利水电出版社, 2011.