

编者按 位于浙江省中部的义乌市是我国唯一的国家级综合改革试点县级市，也是第一批入选国家新型城镇化综合试点地区的城市。义乌市在发展经济的同时，水资源短缺的问题却日益突出，存在着水质型饮用水短缺和水系统功能受损的问题。2013年，浙江省提出“五水共治”创新治水方针，即“治污水、防洪水、排涝水、保供水、抓节水”。8年来，义乌市秉承“五水共治”理念，以“河长制”为抓手，坚持“源头治理彻底、综合施策科学、设施运维常态、督查监管有力、水质达标全优”的目标，探索出了一套以“零排放强投入、促效果升标准、重工程抓过程”为特色的义乌治水经验。2014—2018年间，义乌市的地表水水质逐步提升。为促进国内水务工作者的治水经验交流，本刊编辑部特组织专题——“五水共治”的义乌经验和长效模式探索。专题报道义乌市在“五水共治”工作中的成熟经验、工程实例及面临的挑战与难题，以梳理义乌市水资源与水环境可持续发展生态策略，为我国中小城镇水环境治理和长江小流域综合治理提供参考，并探讨了未来如何持续践行“两山理论”和水资源可持续发展模式。本专题由5篇文章组成，涉及水污染负荷分析、农业点源污染与水源地保护、流域非点源污染识别与模拟、污水提标的环境与经济效益分析等方面内容。



文章栏目：“五水共治”的义乌经验和长效模式探索

DOI 10.12030/j.cjee.202008096 中图分类号 X522 文献标识码 A

邵志平, 徐圣君, 秦玉, 等. 基于水资源可持续发展与水生态文明建设的义乌“五水共治”新模式[J]. 环境工程学报, 2021, 15(4): 1149-1156.

SHAO Zhiping, XU Shengjun, QIN Yu, et al. Sustainable development of water resources and construction of water ecological civilization: A new model of “five water treatment” in Yiwu City[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(4): 1149-1156.

基于水资源可持续发展与水生态文明建设的义乌“五水共治”新模式

邵志平¹, 徐圣君^{2,3}, 秦玉³, 焦茹媛^{2,3}, 赵洪涛^{2,3}, 严岩³, 尹澄清³, 刘俊新³, 王东升^{2,3}, 杨敏³, 庄绪亮^{3,*}

1. 浙江省义乌市水务局, 义乌 322000
2. 中国科学院生态环境研究中心(义乌)长三角中心, 义乌 322000
3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

第一作者: 邵志平(1969—), 男, 大学本科, 高级工程师。研究方向: 水利及水资源管理。E-mail: ywsjzsp@163.com

*通信作者: 庄绪亮(1970—), 男, 博士, 研究员。研究方向: 环境科学与工程。E-mail: xlzhuang@rcees.ac.cn

摘要 义乌市的“五水共治”行动已开展了8年。尽管耗氧物质已得到全面管控,但仍面临水质型饮用水短缺和水系统功能受损的挑战。为助力该市经济与生态环境保护的协调发展,中国科学院生态环境研究中心(义乌)长三角中心提出了水生态可持续发展的战略举措:建议义乌市以生态资源经济化与经济发展生态化的发展模式,实行多水源开发与风险防控;将初期雨水治理、雨污分流处置、管网系统优化、水质质量保障、内外污染防治防控与生态环境品质提升作为工作重心;增设智慧化管理平台保障监测与控制;实行国内生产总值(GDP)和生态系统生产总值(GEP)双核算制度。以上举措有望协助义乌市走出一条集约化发展模式下的绿色流域构建道路。

关键词 五水共治; 水资源保障; 雨污控制; 水生态; 两山理论

收稿日期: 2020-08-12; 录用日期: 2021-03-04

基金项目: 中国科学院生态环境研究中心(义乌)长三角中心重点部署项目(20190627)

党的十八大以来,我国生态环境的改善初见成效、稳中向好,但部分区域形势仍然十分严峻^[1]。义乌市是世界闻名的“小商品之都”、全球最大的小商品集散中心^[2]。义乌市还是我国第一批新型城镇化综合试点地区。在经济发展的背后,产业与社会对水资源的需求逐步提高。全面提升水资源安全保障和水环境保护能力是义乌市生态环境保护工作的重心。

义乌市原本河网水系发达,水量充沛。但随着该市经济的高速发展,用水量急剧增大,水污染日趋严重。2013年11月29日,浙江省委十三届四中全会提出“五水共治”这一项重大战略政策,遵循协同理念治水,创新运用“五位一体”协同水管理模式、“河长制”与多样化的公众参与途径,实现了水环境质量的全面好转^[3-4]。

本文系统总结义乌“五水共治1.0”(2013—2020年)实施以来取得的成果及工作中的难点与挑战,明确了水环境质量持续改善与水系统功能修复的核心目标,进而提出水环境与水资源可持续发展模式(“五水共治2.0”)的构建设想,提出为实现该目标应采取的举措,以及具体的工程布局,以期为义乌市“五水共治”工作的进一步推动提供参考。

1 义乌市“五水共治”模式

1.1 “五水共治1.0”工程已取得的成果

2013年,治水工作启动时,义乌市水体的COD、总磷和氨氮浓度指标为地表IV类水标准,总氮浓度高于V类水标准,属于典型的水质型缺水城市特征。义乌市秉承“五水共治”理念,以浙中生态廊道建设为统领,以“河长制”为抓手,坚持“源头治理彻底、综合施策科学、设施运维常态、督查监管有力、水质达标全优”的目标,使得地表水水质在2014—2018年间逐步提高。总体上看,义乌市江干(支)流水质持续向好,供水能力增强,节水措施效果显著,洪涝灾害减少。截至2019年,义乌市供水总量达到 $2.92 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$,污水处理能力提高到 $54 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$,全市8个县控及以上断面污染物浓度基本满足地表水III类标准,义乌市域内饮用水水源地也基本满足城市自来水管网的供水需求。在此基础上,义乌市总结出了一系列宝贵的治水经验。例如,在规划管理上形成了“1+14+9+9”(1个总体规划,14个镇街主体责任,9个污染源头治理,9大保障机制)模式;在治水措施上,对污水处理厂进行提标改造,并实现市域污水厂的互联互通;配套建设城乡污水管网约4000 km,基本实现义乌市污水收集全覆盖到义乌市管网连接,构建“一网九厂”;从7个污水处理厂的科学调度、“削峰填谷”到合理调蓄,实现“智慧排水”。由于出色地完成了“五水共治1.0”工作(见图1),义乌市多次荣获浙江省“五水共治”工作优秀县(市、区)大禹鼎。

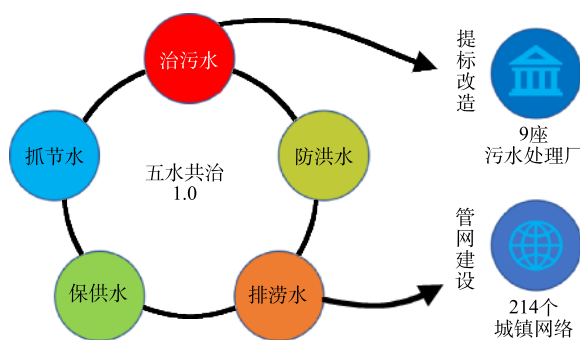


图1 义乌市“五水共治1.0”核心工作

Fig. 1 Core work of Yiwu City "five water treatment 1.0"

1.2 义乌市“五水共治1.0”面临的挑战与难题

1) 水质型饮用水短缺与水系统功能受损问题尚未解决。通过“五水共治”前期的治理,主要水体水环境质量得到较大改善,但水质与水生态系统现状仍不容乐观。首先,上游入境断面义东桥和城区退水断面塔下洲仍有3~4个月水质达不到地表水III类标准,特别是2018年后水质出现反弹,与2017年对比,氨氮上升25.9%,总磷上升19.4%。其次,因治水工作长期忽视水生态系统的构建,现状建设用地无序扩张,导致生态空间结构和功能受损,连接度差,生态系统面积不断萎缩,多条河流断流,河岸植被覆盖率低,植被结构单一,景观破碎化严重。

2) 管网污染严重、雨污分流系统尚未完善。地下管网渗漏问题、重厂轻网、污水收集效率低,是目前我国治水工作的难题^[5]。2017年我国污水管网的整体外渗率达39%,城市黑臭区外渗率更是高达66%,为新加坡平均水平的6.6倍^[6]。这些外渗的污水直接或间接进入地表水系统,使得“控源截污”这一水体治理核心措施不能发挥应有功效。义乌市地下管网渗漏情况尚不明确,城区97个小区中仍有42个未全面完成截污纳管与雨污分流,雨污分流不到位的住户占比约达40%。因此,如何快速高效地启动全市范围的地下管网普查工作,并制定地下管网系统修复计划是下一步的核心任务和一大难题。

3) 农村水污染治理运维管理体系不够专业。在农村生活污水治理过程中,大部分地区的分散式生活污水处理设施是由村民进行维护管理的。由于管理人员对污水治理重要性的认识不足,使得一些污水处理设施运行维护管理水平较低,甚至有些设施处于“零管理”状态,影响了这些设施正常发挥污水治理作用。

4) 治污工程能耗、药耗高,效益有待优化。义乌市政府在“五水共治”工程建设和运行方面已投入了大量的建设费用。前期工程已取得了较好的治理效果,但部分工程的工程效益欠佳,未做到效益最大化。由于质量控制和管理工作是工程发挥最大效益的前提,在实现能耗与药耗降低的同时必须保证质量达标。因此,“五水共治”工程后续建设应加强规范质量管理,确保治理达标的同时降低治理成本,以提高工程的效益。

5) 流域监测体系以被动监测为主,尚未实现智能化。在水环境监测方面,当前水质监测采用人工采样监测方式,缺乏实时性,这可能导致发现污染滞后,加大治理难度。生态环境监测体系缺乏规范化和系统化布局,区域的环境监测体系不健全,缺乏完整的生态环境监测网络。目前,义乌市尚未建设数据库、管理平台等规范化、系统化的信息系统,尚未实现天地一体化实时监控和预警预报,管理基础较弱。

1.3 水资源与水环境可持续发展(“五水共治2.0”)模式的构建设想

义乌市“五水共治1.0”工作在排涝水、治污水、抓节水、防洪水和保供水5个方面成绩突出,解决了将黑水变为清水,基本解决了水污染问题。下一步治水工作的目标则应变为水资源管理,通过科学的分析、规划和管理,使水资源更好地支撑义乌市经济的可持续发展。

“2.0时代”,义乌市应持续践行两山理论,走可持续发展之路,坚持经济发展与生态环境两手抓,做到“知水”、“策水”、“懂水”、“控水”和“新水”。“知水”即从常规污染物控制走向风险污染物全面控制;“策水”即监测体系从被动监测转向主动预警;“懂水”即利用工程手段从全面控污转向精准控污;“控水”即工程实施效益从高能耗转向高效率;“新水”即在政府顶层设计层面将水治理转向智慧水管理。

“五水共治2.0”的总体思路分以下5个层面:1)从控污走向水生态保护,建立水生态平衡,恢复生态空间结构与功能;2)从去除常规污染物的提标改造,逐步转向风险污染物的控制;3)对管网渗漏问题进行全面排查,全力以赴补齐“雨污分流系统不完善”这一短板,最大限度挖掘雨水资源;4)通过招投标和严格的质量控制等手段,实现低成本和高效益产出;5)构建义乌市全网水质水量监测预警体系。“五水共治2.0”的技术路线见图2。

1.4 基于可持续发展方略的“五水共治2.0”的重点建设任务

1) 以雨水为主线的多水源开发与风险防控。从水环境治理和水资源利用的长远角度来看,开展以雨水为主线的多水源开发与风险防控,在减轻义乌市排水系统和污水处理系统压力的同时,还可以实现优质饮用水的足量供应^[7]。基于以上思路,对义乌市降雨在时间、空间上的水质水量进行研究,形成“三步走”雨水综合利用新模式:将义乌市境内地表雨水系统划分为人员活动少、开发强度低的可用区,人员活动密集、开发强度高的备用区,以及易产生高风险物质的风险区;在

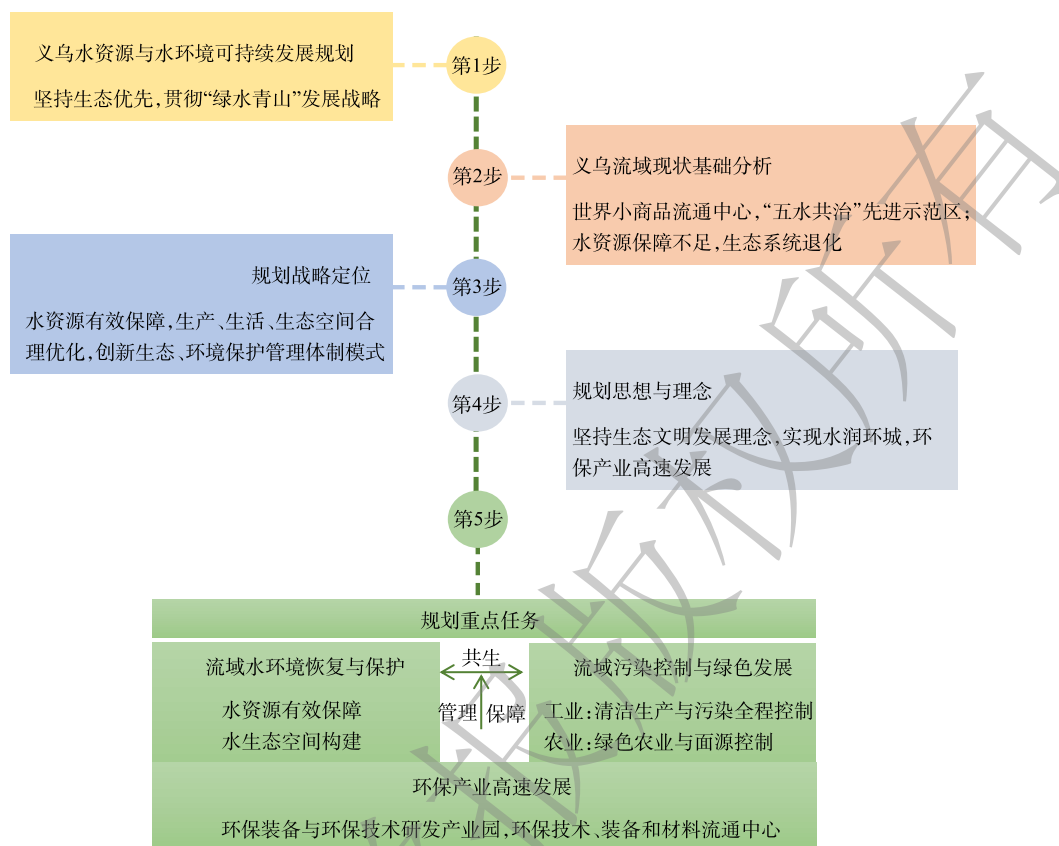


图2 “五水共治”新模式技术路线图

Fig. 2 Technical roadmap of new model of "five water treatment"

可用区内构建雨水导流与收集系统,在城市生活区融入海绵城市概念,在以岩口水库为代表的农村地区,因地制宜地制定雨水收集和利用方案,在风险区设置雨水调蓄处理设施,合理进行风险区生态系统规划;建设以地下水储备和水利枢纽再生水厂为核心的饮用水应急保障体系,扩大重大灾害条件下再生水供水来源^[8-9]。

2) 以污水为主线的管网收集系统实现低成本管控。义乌市水环境质量在多年治理中虽然得到大幅度的改善,但水质现状仍不容乐观,尤其在丰水期存在水质较差现象,其主要原因是雨污分流不彻底、管网漏损情况严重导致的污水收集率低。此外,污水处理厂提标改造后采用的膜技术并未从根本上解决进水中碳氮比较低导致的污染物去除效率低的问题,在丰水期情况更为严重^[10]。未来,义乌市以污水治理为主线的治水工作重点有:基于地上河道两侧排口信息制定地下管网系统修复计划;在已有和新建的污水厂中引入新型污水处理工艺,以降低能耗,提高资源回收和水生态修复能力;构建“厂—河—网”一体的污水收集与低能耗污水处理模式,实现污染物的低成本管控。

3) 构建以健康水生态系统为主线的塘、库、溪多类型梯级生态系统。在以湿地、河道和塘系统等为核心的水域空间,构建“沉水植物—浮水植物—水生动物”多层次水生态系统,恢复生物多样性。在以滨河缓冲净化带为核心的陆域空间,构建“复合式滨河缓冲净化带”,增强对面源污染的截流净化能力以及滨河缓冲带的生物多样性,恢复河道纳污承载力^[11]。

4) 搭建以智慧管控为主线的监测与预警平台。在入境和境内河流断面等处合理配置监测系统,实施常规监测与自动在线监控相统一的监测体系,并完善水环境监测和上游流域污染源监控体系^[12];以提升水生态环境科学决策水平和创新水生态环境监管模式为核心,构建全景式水生态

环境形势研判可视化系统；从水生态环境日常管理和污染应急处置两大方面，搭建水生态环境智慧化管理平台。

5) 实现从国内生产总值 (Gross Domestic Product, GDP) 到生态系统生产总值 (Gross Ecosystem Product, GEP) 核算与考核的绿色转变。将 GEP 核算纳入义乌市水资源综合绩效，评估生态系统的生产总值、状况及变化。通过建立政府生态审计制度，对义乌市水资源管理进行监督，严格执行相关环境保护政策，加强生态环境管理。

2 “五水共治 2.0”中的主要工程

1) 水源地保护与水质提升工程。义乌市最重要饮用水水源地之一的岩口水库，其水质长期处于中度富营养化水平，易出现藻华现象，严重威胁居民饮用水安全^[13]。针对此现象，须对全区进行污染风险分级划分，合理管控农耕施肥过程，对黄山溪、斯河溪 2 个人库溪流末端的湿地净化系统进行功能提升，恢复生态系统功能，搭建智慧化管理平台，保障及时预警与应急处置。这部分工程的主要内容见表 1。

表 1 水源地保护与水质提升工程建议

Table 1 Water source protection and water quality improvement project planning

序号	工程名称	主要目标
1	上游农村污水管网评估	构建适合岩口区域的生活污水收集治理和资源化利用模式，完善渗滤液“收集—处置—达标排放”系统
2	农业面源多级屏障体系	建“农田排水沟—沟渠湿地—滞留回用塘/退耕还草/过滤草沟—功能湿地”多级屏障技术体系，实现区域面源污染源头消减和过程控制 ^[14]
3	岩口水库生态治理	在岩口上游构建流域梯级生态水系格局，针对黄山溪、斯河溪、金傅宅溪和溪华溪 4 条主要入库溪流的关键区域进行河道生态结构优化
4	智慧化平台构建与保护区优化	把保护区划分为库区、入库支流和陆域 3 个部分，在入库关键节点处设置水质和水量的实时在线监测设备，优化与保障库区内水质

2) 初雨控制与关键区域低影响开发工程。根据城市不同地区雨水径流水质水量特征，建议采取雨水径流污染与资源化协同的管控和利用模式，同时识别流域面源污染发生的关键源区，有序构建“源—流—汇”空间系列化防控工程。这部分工程的主要内容见表 2。

表 2 初雨控制与关键区域低影响开发工程建议

Table 2 Initial rainfall control and low impact development project planning in key areas

序号	工程名称	主要目标
1	雨污分流与雨水资源利用评估	对已完成的雨污分流区进行效果评估，对城市不同功能及开发地块的雨水资源潜力评估，提出雨水径流污染与资源化协同的管控和利用模式
2	面源污染风险与湖周生态保护	评估影响城市面源污染的地表沉积物累积状况和综合径流产生能力，在湖周建设开发区设计相应海绵设施的类型、面积以及布局，制定分期流域水污染防治工程方案 ^[15]

3) 管网排查与污水系统优化工程。对管网漏损和雨、污管道错接漏接情况进行全面摸排，完善地下管网系统。建议从源头上对水环境健康与风险污染物进行管控，构建义乌市污水治理“水量—水质—污泥”的平衡调控与污水资源再利用体系。这部分工程的主要内容见表 3。

4) 流域典型水系生态修复工程。随着义乌市“五水共治”工作重心由污染控制逐渐转向水生态修复，基于中国科学院生态环境研究中心(义乌)长三角中心提出的以“源头控制—水系生态修复—智慧测水管水”为主体的水系生态修复思路和对策，建议启动污染源调查评估、连通水系与生态修复、智慧化平台搭建等工程，具体内容见表 4。

表3 管网排查与污水系统优化工程建议

Table 3 Pipeline network investigation and sewage system optimization project planning

序号	工程名称	主要目标
1	管网普查优化与数字化监控	对义乌市地下管网系统进行全面普查及优化改造, 构建全市地下管网GIS系统, 建立数字化管网新模式
2	风险污染物管控与城市饮用水应急保障	开展全流域风险污染物监测与评估工作, 构建城市饮用水应急保障体系, 建设双江水利枢纽再生水应急水厂
3	污水收集与再生处理	引入新型污水处理技术, 形成“厂—河—网”一体的污水收集与低成本、灰绿结合的村镇污水基础设施建设与运管技术, 重构污水处理厂水质提升与再生利用技术路径, 实现城乡水系统协同优化与精准管控

表4 流域典型水系生态修复工程建议

Table 4 Ecological restoration project planning of typical water systems in the basin

序号	工程名称	主要目标
1	污染源调查评估	对流域内典型水系分区进行污染源调查, 并对点源、面源污染源污染负荷进行量化核算, 对水系污染现状和降解能力现状进行评估
2	连通水系与生态修复	全力打造“百川东到海、路路皆通达”的畅通格局, 构建“沉水植物—浮水植物—水生动物多层次水生态系统”水域空间、“复合式滨河缓冲净化带”陆域空间
3	智慧化平台搭建	在流域典型水系关键节点设置水质和水量的实时在线监测设备, 实现水库管理相关部门对入库水体的综合管控, 保障库区内水质安全

5) 双江水利枢纽水资源保障与景观综合提升工程。义乌市双江水利枢纽工程以供水、防洪为主, 结合改善生态环境, 兼顾灌溉、航运、发电等综合利用。该枢纽工程丰水期库区氨氮和总磷浓度较高, 有诱发蓝藻水华爆发的风险。依据中国科学院生态环境研究中心(义乌)长三角中心提出了外源污染控制、内源底泥污染削减、与藻华应急管控措施的双江水利枢纽水生态环境综合治理思路, 建议对库区进行水质风险划分, 并构建水质综合保障方案。这部分工程的主要内容见表5。

表5 双江水利枢纽水资源保障与景观综合提升工程建议

Table 5 Water resources guarantee and landscape comprehensive improvement project planning of Shuangjiang water control project

序号	工程名称	主要目标
1	构建湖周生态保护圈层与库区净化系统	在湖周采用海绵城市建设手段, 设计相应海绵设施的类型、面积以及布局, 同时构建库区湿地—缓冲带净化系统, 降低库区外源污染负荷的输入
2	淤泥疏浚及资源化利用工程	进行底泥疏挖、底泥脱水、余水处理及底泥的资源化利用等综合淤泥疏浚与利用综合方案设计
3	构建水质监测预警智慧决策平台与应急处置	针对库区内、外源污染负荷, 打造环境立体监测网络, 建立环境智慧决策系统和针对极端水质情况下的应急处置—多功能澄清塘+陶粒坝应急处置工程

3 与“五水共治2.0”相适应的工程管理模式

1) 建立新理念下的智慧化管理平台。浙江省政府推出的“互联网+智慧水务”管理平台, 实质性地破解了“五水共治”项目的统筹管理难题^[16]。义乌市按照智慧城市建设的总体部署, 以水务智慧化带动水务现代化, 建成由点(水源地、取用水户、入河排污口等)、线(河流、水功能区、供排水管网等)、面(行政区、水资源分区和地下水分区等)组成的网络体系; 从生态环境日常管理和污染应急处置两大方面, 集水质水量水处理一体化, 综合雨水、污水、地下水、供水与污水处理, 搭建生态环境智慧化管理平台。在岩口水库等饮用水源地设置饮用水源监测点位, 并布设水质自动监测站; 在东青溪、青口溪、洪溪、东溪和航慈溪等入江的河流布设例行监测点位, 监测水环境

质量标准中的24项常规指标;在污染较重的铜溪、东青溪、六都溪等3条河流入江口布设水污染物通量监测点位,并开展生物多样性监测,按季度监测并评价水源区和缓冲区生态质量和生物多样性状况。

2) 环保产业园建设与产业经济规划。进入“十三五”以来,我国环保产业步入新的发展阶段^[17]。义乌市应立足于当地产业发展状况,开展环保产业园建设与产业经济规划工作,以便对现有产业园区进行环保生态化改造。总体思路有以下3个层面:①致力于创新产业园管理机制,实现与工程中心共生共赢的经济循环关系;②着重于发展先进环保技术、装备、产品和服务;③专注于环保领域的产业集聚,打造一个创业环境优良的产业生态圈。具体来说,可在义乌市现有工厂或企业间建立“生产者—消费者—分解者”的循环途径,寻求物质闭环循环、能量多级利用和废物产生最小化;还可将环保产业园打造为国内环保产业质量管理体系认证中心、中小微环保企业孵化中心、环保产业技术联盟共享中心,重点建设“国家环保产业示范基地”、“义乌市知识产权示范园区”。

3) 立创新型环境评估体系。探索建立生态文明建设目标评价考核制度,实施GDP和GEP双核算制度^[18]。在此制度下有效划分各级政府、各部门在经济调节、资源环境监管和公共服务方面的主要职责,逐步完善干部政绩考核制度和评价标准体系,实行领导责任制和资源环境问责制。在标准不低于省级基础上,根据各镇街的实际研究制定本区域内考核办法,强化现有考核指标体系设置的四大类指标(经济发展、资源环境、人民生活、社会进步)的资源环境比重。

参 考 文 献

- [1] LI X. Research on the construction of ecological civilization based on marxist philosophy[J]. *International Journal of Social Sciences in Universities*, 2019, 2(3): 9-11.
- [2] 李雪, 李燕玉. 义乌小商品市场的现状及发展策略[J]. *现代营销(下旬刊)*, 2020(4): 114-115.
- [3] 许光建, 卢允子. 论“五水共治”的治理经验与未来: 基于协同治理理论的视角[J]. *行政管理改革*, 2019(2): 33-40.
- [4] 单盈. 软法视野下“五水共治”多元共治体系构建的法制保障研究: 以金华市为切入点[J]. *理论观察*, 2019(12): 95-98.
- [5] 赵鑫. 市政工程排水管网施工问题及质量控制措施分析[J]. *科技经济导刊*, 2020, 28(17): 51.
- [6] CAO Y S, TANG J G, HENZE M, et al. The leakage of sewer systems and the impact on the 'black and odorous water bodies' and WWTPs in China[J]. *Water Science & Technology*, 2019, 79(2): 334-341.
- [7] 白建锋, 刘永丽. 水资源可持续发展和雨水的集蓄利用[J]. *区域治理*, 2020(2): 112-114.
- [8] ODONKOR S T, MAHAMI T. *Escherichia coli* as a tool for disease risk assessment of drinking water sources[J]. *International Journal of Microbiology*, 2020, 2020: 2534130.
- [9] REZA M T I A, TAHMINA S M, ANWAR Z, et al. Drinking appraisal of coastal groundwater in Bangladesh: An approach of multi-hazards towards water security and health safety[J]. *Chemosphere*, 2020, 255: 126933.
- [10] ERKAN H S, ENGIN G O, INCE M, et al. Effect of carbon to nitrogen ratio of feed wastewater and sludge retention time on activated sludge in a submerged membrane bioreactor[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23(11): 10742-10752.
- [11] CRISTINA R, JULIETTE T R, DAMIEN B, et al. Invasive aquatic plants as ecosystem engineers in an oligo-mesotrophic shallow lake[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 1781.
- [12] ULLO S L, SINHA G R. Advances in smart environment monitoring systems using IoT and sensors[J]. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2020, 20: 3113.
- [13] JIANG Z B, DU P, LIAO Y B, et al. Oyster farming control on phytoplankton bloom promoted by thermal discharge from a power plant in a eutrophic, semi-enclosed bay[J]. *Water Research*, 2019, 159: 1-9.

- [14] 杨林章,施卫明,薛利红,等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践: 总体思路与“4R”治理技术[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(1): 1-8.
- [15] XIANG C Y, LIU J H, SHAO W W, et al. Sponge city construction in China: Policy and implementation experiences[J]. *Water Policy*, 2019, 21(1): 19-37.
- [16] 张宁, 陈延鑫. 智慧水务市场嵌入中的利益主体参与意愿及其影响因素: 以浙江“五水共治”为例[J]. 统计与信息论坛, 2019, 34(8): 121-128.
- [17] 常杪, 杨亮, 陈青, 等. 我国环保产业园的发展与新时期面临的挑战[J]. 中国环保产业, 2020(6): 12-17.
- [18] 高敏雪. 生态系统生产总值的内涵、核算框架与实施条件: 统计视角下的设计与论证[J]. 生态学报, 2020, 40(2): 402-415. (责任编辑: 靳炜)

Sustainable development of water resources and construction of water ecological civilization: A new model of “five water treatment” in Yiwu City

SHAO Zhiping¹, XU Shengjun^{2,3}, QIN Yu³, JIAO Ruyuan^{2,3}, ZHAO Hongtao^{2,3}, YAN Yan³, YIN Chengqing³, LIU Junxin³, WANG Dongsheng^{2,3}, YANG Min³, ZHUANG Xuliang^{3,*}

1. Yiwu Municipal Water Affairs Bureau, Yiwu 322000, China

2. Yangtze River Delta Branch, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Yiwu 322000, China

3. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

*Corresponding author, E-mail: xlzhuang@rcees.ac.cn

Abstract The “five water treatment” of Yiwu City has gone through eight years. Although the oxygen consumption substances have been fully controlled (the “five water treatment” action), challenges still remain because of drinking water shortage and impaired water system functions. In order to promote the coordinated development between economic growth and ecological environment protection in Yiwu City, the Yangtze River Delta Branch (Yiwu), which is affiliated with Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, has put forward strategies for sustainable development of water ecology. The strategies are: 1) the development in Yiwu city should be according to the mode of economization of ecological resources and ecologicalization of economic development; 2) implement multi-water-source development and risk management; 3) focus on the in-cipient rainwater treatment, rainwater/sewage separation and disposal, pipe network system optimization, water quality assurance, internal and external pollution prevention and control as well as ecological environment quality improvement; 4) employ intelligent management platforms to ensure pollution monitoring and control; and 5) implement the double checking system for both Gross Domestic Product (GDP) and Gross Ecosystem Product (GEP). The implementation of the above strategies should the establishment of a green road for restoring the black and odorous rivers under intensive development to resume their clean stage.

Keywords five water treatment; water resources guarantee; rain pollution control; water ecology; two mountain theory