

# 生命周期视角下茅洲河流域水环境综合治理

李弘扬<sup>1,2</sup>, 薛安捷<sup>1</sup>, 赵敏<sup>1</sup>

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100; 2. 华南理工大学土木与交通学院, 广东 广州 510641)

**摘要:** 基于生命周期理论和利益相关者理论, 对茅洲河流域水环境综合治理工程中的决策阶段、设计阶段、实施阶段、竣工验收阶段和运营维护阶段进行全生命周期管控, 根据不同阶段的侧重点采取不同的应对措施。总结出生命周期视角下的水环境治理经验, 包括开创性的治理模式, 水资源、水安全、水环境、水生态、水文化“五位一体”的城市河流健康治理理念, 先进的治水科技和智慧水务以及多方协同的治理格局等, 可为相关流域水环境综合治理提供参考。

**关键词:** 全生命周期管控; 水环境治理; 生命周期理论; 利益相关者理论; 茅洲河流域

**中图分类号:** TV85; X52

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1003-9511-(2022)05-0040-06

受全球气候变化以及强人类活动影响, 我国面临严峻的流域水安全形势, 水资源短缺限制着流域内社会和经济的发展, 导致水环境和生态水系统同样面临严峻考验<sup>[1]</sup>。同时, 近年来我国洪水灾害呈现多发、频发和重发的趋势<sup>[2]</sup>, 流域水环境治理迫在眉睫。总体而言, 城市水环境治理可以分为污染治理、水质改善和生态恢复三类, 三者各有侧重又相互关联, 代表了城市水环境管理的3个阶段<sup>[3]</sup>。水环境治理的根源是流域综合治理, 存在诸多客观困难, 需要不同部门共同管理, 因此是一个庞大的系统工程<sup>[4-5]</sup>。Rodriguez等<sup>[6]</sup>回顾了污水处理厂去除“新兴污染物”的技术, 并对现有设计给出升级建议。Tran等<sup>[7]</sup>研究了污水处理厂废水、污泥中新污染物有关数据, 并根据地理区域对数据进行系统的汇总和分类。廖雅等<sup>[8]</sup>基于水资源、水环境、水生态以及社会经济发展水平、污染物排放量和环境治理力度等6个维度构建水生态环境保护策略分析体系, 为量化水生态环境保护水平提供逻辑框架。魏源送等<sup>[9]</sup>从“源-流-汇”全过程角度出发, 对“源削减”“流改善”“汇景观”进行梳理, 为流域绿色生态廊道构建提供支撑。罗小林等<sup>[10]</sup>提出要结合流域水环境的时空特征, 推进中心城区海绵城市建设, 强化流域水环境综合协同管理。高娜等<sup>[11]</sup>从生态系统服务的角度出发, 建立水环境治理生态效益评价

指标体系, 并借助 InVEST 模型评估项目布设治理措施后产生的生态效益。许申来等<sup>[12]</sup>强调城市水环境系统从属于社会经济系统, 既要考虑内部系统的复杂性, 也要考虑外部社会经济的可承受性。吴兆丹等<sup>[13]</sup>提出水环境治理离不开科技支撑, 需要从科技的基础理论、关键技术、解决方案三方面予以支撑。包晓斌等<sup>[14]</sup>以淮河流域水环境治理为例, 指出在推动流域水环境综合治理的同时需促进流域绿色发展。综上所述, 以往针对水环境治理的研究较为完善, 但缺乏从生命周期角度出发的水环境治理项目管控研究。本文运用案例分析法, 基于全生命周期管理、利益相关者等理论对茅洲河流域水环境综合治理工程进行研究, 总结出一套先进的水环境治理经验, 治理后的茅洲河成功入选中国生态环境部2021年美丽河湖案例, 其经验具有较高的实践参考价值。

## 1 理论基础

### 1.1 生命周期理论

生命周期理论(life cycle theory)可以通俗地理解为商品或更广义的物品从“摇篮”到“坟墓”的整个过程。1966年, 哈佛大学教授Vernon提出产品生命周期理论, 即某种产品从生产出来, 走向市场到最终被淘汰的全过程。他指出随着产品生命周期的演进, 产品所涉及的相关因素也会随之发生变

**基金项目:** 中央高校基本科研业务费专项(B210201014); 2021年江苏省双创人才计划(JSSCRC2021507); 广东省哲学社会科学“十三五”规划2019年度一般项目(GD19CGL27)

**作者简介:** 李弘扬(1983—), 男, 教授, 博士, 主要从事工程经济与工程管理等研究。E-mail: lihy@hhu.edu.cn

化<sup>[15]</sup>。20世纪70年代,美国军队率先将生命周期理论运用到项目管理中,通过对国防、交通、能源开采等不同领域项目的全生命周期管理,提高项目质量、效率以及规划的合理性,确保在整个生命周期中对项目的管理达到最优。

由于工程项目具有生产者(实施方)和消费者(委托方)的属性,因而也可被视作为一种特殊的产品,从而可对其进行全生命周期管理。工程项目全生命周期管理是指在项目筹建直至最终被拆除的全过程中,对其进行计划、组织、协调、控制等专业化活动,使项目价值达到最大。不同工程项目的唯一性决定了它们的生命周期有所不同,但根据现有的共识,不同项目均可大致划为5个主要阶段<sup>[16]</sup>:决策阶段、设计阶段、实施阶段、竣工验收阶段和运营维护阶段。

## 1.2 利益相关者理论

出于项目全生命周期经济-社会-生态综合效益的考虑,需力争使项目中各利益群体的诉求均得以实现。Freeman<sup>[17]</sup>将利益相关者定义为“影响组织预期期望实现,或者是受到组织目标影响的至关重要的群体或个人”。Clarkson<sup>[18]</sup>对利益相关者进行分类划分,涵盖重要利益相关者和一般利益相关者,前者包括存在直接合同或行政关系的组织及个人;后者指影响项目整体社会利益的非合同关系人。Li等<sup>[19]</sup>运用德尔非法量化中国可持续建设项目利益相关者影响力,建议采取相关措施平衡各利益群体诉求。

# 2 茅洲河流域水环境综合治理背景

## 2.1 工程概况

茅洲河位于深圳市西北部,属珠江口水系,发源于羊台山北麓,流经深圳市光明区、宝安区和东莞市长安镇,最终汇入我国西部海域,全河长41.61 km,其中干流长31.29 km,上游石岩河河段长10.32 km,下游与东莞市的界河段长11.68 km,感潮河段长13.02 km。茅洲河流域总面积为388.23 km<sup>2</sup>,其中深圳市境内流域面积为310.85 km<sup>2</sup>,为深圳市第一大河,东莞市境内流域面积为77.38 km<sup>2</sup>。1978年改革开放以来茅洲河流域城镇化发展迅速,流域内人口和企业众多,河道的防洪、排涝、排污负担日益加重。近几十年来,茅洲河两岸的城中村、企业等将生产生活污水直排入河,导致干支流均重度污染为黑臭水体,加之茅洲河下游出口是典型的感潮河段,自身水动力条件较弱,水质极易恶化和交叉污染,因而茅洲河是珠三角地区污染最重、治理难度最大的城市河流。

2016年,广东省及深圳市挂牌督办,要求茅洲河2017年基本消除黑臭水体,2020年消除丧失使用功能的水体。茅洲河流域水环境综合治理工程是国内最大的流域水环境治理EPC项目,受到国家水利部、环保部以及相关省市的高度重视。该工程以深圳市茅洲河流域水环境治理为主,结合进行防洪(潮)、河道整治、排涝、治污截污和底泥处理等综合性治理工程。面对如此复杂的水环境综合治理重大工程,对其进行全生命周期管控成为保障项目顺利实施的关键。

## 2.2 存在问题

a. 水环境方面。茅洲河流域降雨时空分布不均,河道源短流急不利于当地水资源开发利用,随着用水量激增,水资源开发已超出其承载能力,只能通过大量外调水来满足需求。用水量增加导致废污水排量增加,水质严重污染,加剧水环境恶化。茅洲河支流各河段均存在生活生产污水偷排漏排现象,根据水质监测数据,茅洲河流域水质均为劣V类,部分支流流速较小,处于半断流状态,露出淤泥,这些底泥成分复杂,重金属含量高,有明显臭味,易使水体缺氧,对流域内动植物产生危害。水环境方面存在的问题使得茅洲河河道以及河岸景观状况大大下降,不仅严重影响沿河居民正常生活,也制约了河滨带地块的土地功能以及流域内的城市发展。

b. 防洪排涝方面。茅洲河中下游地区河岸地势低洼,受外海潮位顶托影响,一遇到区域暴雨,流域内洪水外排易受阻,导致区域洪涝灾频发。流域内现状干流为10~100 a一遇防洪标准,但由于普遍存在河道被侵占、防洪通道受阻、缺乏有针对性的挡潮措施等问题,60%的河道达不到防洪标准。同时,茅洲河流域内排水管网的连通情况复杂,二、三级管网建设滞后,系统配套不完善,泵站规模不够且维护不当,部分暗渠淤积严重,这些问题都使流域内的防洪排涝效益发挥受阻。

c. 管理方面。茅洲河流域水环境综合治理为跨行业复杂工程,涉及管网建设、河道整治、生态修复等多项子工程,子工程间边界难以划分,治理效果很难简单量化展示。由于工期紧张,项目采用“大兵团作战”工程模式,高峰期进场人数超过1.3万人,500多个施工作业面同时展开,协调不同子工程的进度是管理所面临的挑战。同时,污染流域治理工程由于缺乏长期有效的设计以及对后期运维方面的考虑,诸多治理后河流陷入“反复治理,反复污染”困境。

## 2.3 利益相关方及其需求

茅洲河流域水环境综合治理工程通过良性互

动,辨识并满足了项目全生命周期内各利益相关者的需求,进而形成多元共治的治理格局。项目在决策筹划阶段对各利益相关方的需求进行了调研,结果见图1。

### 3 茅洲河流域水环境综合治理工程全生命周期管控

#### 3.1 决策阶段

决策阶段的任务一般从前期调研开始,编制项目建设可行性研究报告,拟定项目投资、进度、质量三大目标。同时,基于项目全生命周期综合考量,这一阶段要对经济、社会、生态效益进行长远分析。

该项目在决策阶段首先对茅洲河流域的污染源进行调查,收集测量数据以及地质资料,现场踏勘进行水质监测,将收集的资料按照居住小区类、工业仓储类和公共建筑类系统梳理,分类了解其污水排放以及管网信息,并建立基于三维GIS的决策会商平台。本项目决策阶段的利益相关者主要包括政府和参建单位,他们需从整体出发,平衡项目经济、社会、生态效益,明晰该阶段决策内容在工程后续开展中对各利益相关者的影响。同时,考虑其他利益相关者尤其是沿线社区和居民的利益,茅洲河项目在此阶段针对社会各界关于流域治理的看法进行了调研,明确各利益相关方需求,根据调研结果妥善解决后续可能面临的问题。项目还坚持在河道治理的同时兼顾流域沿岸自然及文化景观打造,不仅很好地平衡了经济和社会效益,而且以治水倒逼流域内空间格局和产业布局的优化提升。

#### 3.2 设计阶段

设计阶段是工程项目全生命周期管控的重要环节,设计的成果直接影响项目质量和进度。在此阶段,必须做好全局把控,从施工方案和材料设备选用入手,考虑工程组织设计和施工技术,预测潜在问题,制定预选方案,减少设计变更,强化对成本和质量的把控。

茅洲河项目公司作为治理工程设计阶段最主要利益相关者,建立了专门的设计管理体系,重大技术方案设置了总包部评审、区域公司评审以及项目公司总部评审三级评审制度。总包部建立了技术专家库,关键技术问题组织专家咨询会。利用建成的三维GIS平台为项目设计提供可视化的场景,对工情、水情、水质等各类监测数据进行展示,同时通过模拟在场景内实现洪水演进、模拟仿真及方案比选、调用方案库和资料库信息等,为茅洲河流域相关工程全生命周期建设提供设计支持。如图2所示,项目在设计阶段形成了六大技术体系,创新性地提出水环境治理四步技术路线,即织网成片(全面排查流域内雨污管理,搭建新管网提高污水处理效率)、正本清源(通过对小区和企业进行彻底雨污分流,将工业污水接入预留污水口)、理水梳岸(对暗渠岔流河段为主的河流进行梳理,强化沿河截污管理)、寻水溯源(通过生态补水重塑河道生态,恢复河道自净能力)。此路线应用生命周期理论,从治理路径的角度对水环境治理对象(污水)从其产生源头确定到后期长效管控进行综合考量。

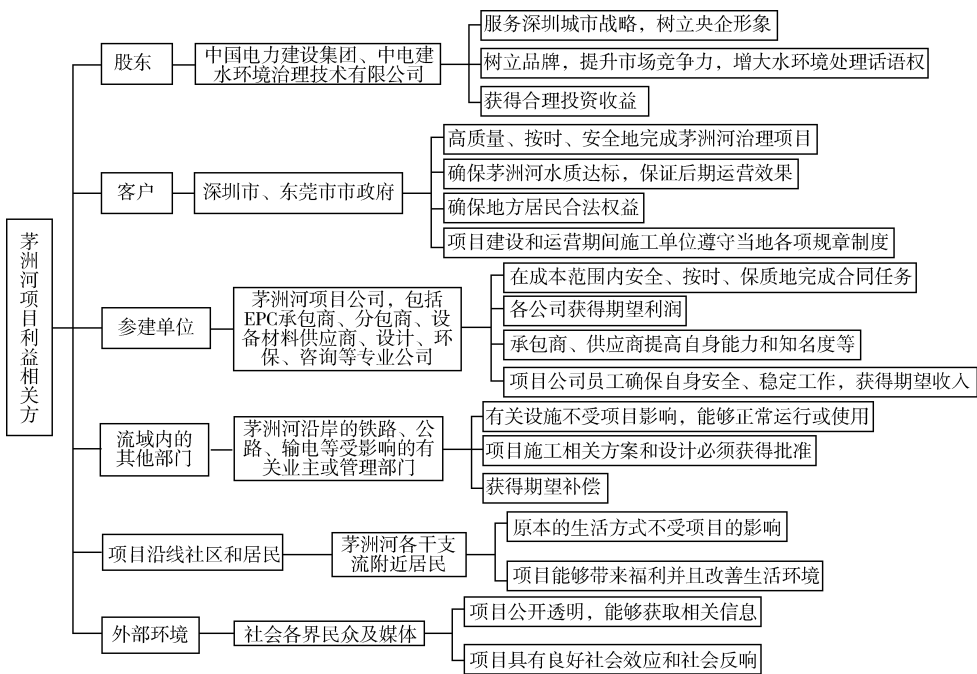


图1 茅洲河项目利益相关方及其需求

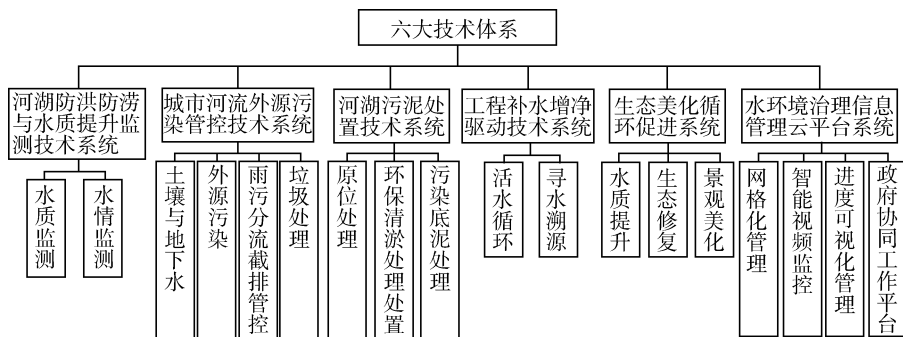


图2 项目设计阶段六大技术体系

### 3.3 实施阶段

工程项目实施阶段的管控,包括自设计阶段结束后到项目建设完成的全部过程,重点围绕进度、质量以及工程造价等展开。该阶段的主要任务是通过管控实现决策阶段和设计阶段确定的项目目标,同时对建设过程中发生的问题及时解决并进行优化。

茅洲河流域水环境综合治理项目实施阶段的任务具体包括管网工程、河道治理工程、水质改善工程、景观生态工程等46个子项目。该项目在工程体系布局方面充分利用先前已建治理工程,降低工程实施难度并避免造成浪费。在施工过程中,茅洲河项目公司作为项目的实施方以及核心利益相关方,针对茅洲河项目的建设任务,开发并运用水环境治理信息管理云平台,采用工程建设管理子系统对在建工程进行信息管理。通过此系统可以实时监控现场情况、推演施工进度、监测施工质量、了解材料市场价格、保障人员安全、提升管控效率,实现成本与质量的精准管控;同时既重视主体工程建设,也兼顾管理机构及管理措施的配套,避免出现“重建设、轻管理”的现象,为工程全生命周期管控创造条件,确保项目长期发挥效益。

### 3.4 竣工验收阶段

竣工验收阶段的工作从质量验收入手,按照质量验收规范,选择相对应的技术,对工程质量进行全面检验。与此同时还要做好工程核算工作,对项目期间的数据进行核实查验,强化对造价的管控,从而保证项目经济效益。

茅洲河流域水环境综合治理项目是由诸多项目构成的项目群,每个项目又包含相互关联的不同子项目,因此项目的竣工验收是对各子项目分别验收与移交。由政府生态环境局、水务局以及业主代表、茅洲河项目公司等单位组成的验收组作为此阶段主要利益相关方,听取各子项目工程汇报,查看实地状况和档案,确认工程是否具备验收条件。验收过程

还包括多项技术的试验检测以及单元工程施工质量评定。经过评定,各工序施工质量全部合格,且主要工序达到优良等级。同时,茅洲河项目验收组对于在限定时间内具备移交要求的各标段、工区施工项目给予奖励,不符移交要求的给予相应处罚。水质验收方面,按照《深圳市小微黑臭水体验收销号工作方案》要求,深圳市生态环境局会同市水务局对全市范围内的小微黑臭水体开展现场核查、水质检测等工作,截至2019年底,全市1467个小微黑臭水体已全部通过验收销号。

### 3.5 运营维护阶段

项目竣工验收交付后,便进入运营维护阶段,也是项目全生命周期中时间跨度最长的阶段,占整个生命周期的85%以上。这一阶段在确保质量和安全的前提下,运用有效管理和维护手段,降低后期管理成本,实现经济效益最大化。

茅洲河流域有关政府部门作为此阶段的主要利益相关方,针对水环境治理后期维护管理的特殊性,系统规划修建污水处理厂和补水管网,将处理后的污水作为活水补充到主要河道,实现尾水资源的充分利用。深圳市在25条支流设置了34个补水点,补水规模达96万 $m^3/d$ ;东莞市铺设补水管道12.4km,补水规模约为13万 $m^3/d$ 。深圳市统筹污水处理厂、管网、河道、泵站等关键环节,实行全要素管理,推出茅洲河流域智慧水务平台并投入使用,此平台涵盖从采集到应用各个环节数据,能够实现日常监督、运行管理、防洪排涝、水质监测的自动化、数字化、智能化,满足不同级别管理机构决策调度和监管养护要求,大大提升了水务综合管理能力。同时,政府在流域内积极推进“河长制”工作机制,实现茅洲河清水长流以及其生态功能的长效发挥。通过打造生态休闲文化带,将茅洲河及其沿岸建设成为具有当代人文生活气息和展示未来都市形象的风景区,沿岸的湿地和滨水公园已成为市民休闲场所,形成了良好的社会效益和运营环境。

## 4 茅洲河流域水环境综合治理成功经验

**a. 创新治理模式。**为按期完成工程建设目标并达到水质考核要求,创新性地提出茅洲河治理项目“一个平台、一个目标、一个系统、一个项目三个工程包”的治理模式,其中“一个平台”指深圳市宝安区、光明区和东莞市的两市三地联动平台,通过搭建该平台协调流域内不同区市间需衔接和决策的事项;“一个目标”指需要满足最终考核要求的水质目标;“一个系统”指将整个流域作为一个系统进行规划;“一个项目三个工程包”指以茅洲河流域综合治理作为一个项目,将流域内涉及的深圳市宝安区、光明区和东莞市三地各自作为一个工程包,明确其中主要利益相关方各自对应的施工责任主体和需要管控的体系。这样的治理模式较传统模式而言,将整个流域治理看成一个系统,对其中任务具体划分,不同工程之间目的明确、重点突出,大大提升了项目实施的效率。茅洲河流域水环境综合治理工程采用上述创新治理模式,顺利如期完成工作,为国内相关大型治水工程提供了借鉴。

**b. 升级治理理念。**早在2007年,茅洲河流域的治理工程就已开启,开展了为期3年的防洪排涝治理,2010年,深圳市又启动水环境治理工程,包括流域内污水处理厂和污水管道的建设。然而,2016年底中央环保督察组来到深圳进行实地调查后,仍然给出了流域内水质严重不合格的反馈。长期以来,茅洲河流域的治理收效甚微,治理过程未形成系统的治理理念,局部零敲碎打式的治理是茅洲河久治不清、清而复黑的根源。此次茅洲河流域水环境综合治理结合项目自身的地区发展定位、流域自然地理、社会经济环境等多方面内容,专门设计出一套兼具社会服务功能和生态服务功能的全方位多元化治理方案,提出了以水资源、水安全、水环境、水生态、水文化为指导理念的“五位一体”城市河流健康治理方法,通过对多方水源的合理引配,优化了流域内水资源的配置;通过对防洪涝工程、管网工程,以及海绵城市的建设,保障了流域水安全;通过正本清流、底泥处理、挡湖闸建设、湿地构建等手段实现了水环境优良和水生态修复的目标;通过对沿岸南粤风俗的挖掘,提升了茅洲河流域的水文化。茅洲河项目通过以上“五位一体”的建设,全方位、立体化地将环境改善、产业升级、土地增效、城市更新相结合,最大程度满足不同利益相关者的需求,将治水与治城相结合,实现水经济综合效益的最大化。

**c. 强化科技支撑。**茅洲河治理项目依托“六大技术体系”,在底泥处理处置、信息化建设、生物天

然气、水质提升、地下水处理、管道工程施工等领域取得多项具有自主知识产权的研究成果。参建单位通过完善技术研发顶层设计和组织体系,不断推进科技创新和科研组织建设,搭建了产学研用创新机制;通过设置研究实验中心为项目提供第一手的数据支撑,切实保障了项目的水质检测需求。在治理过程中,茅洲河治理项目形成了淤泥浆体调理脱水、调质固结同位处置、河岸滩涂空间人工湿地构建以及河湖底泥资源化制备人工湿地填料等技术。项目按照现代花园式厂房模式设计、建造了世界最大的底泥处理厂,也是中国第一座现代化底泥处理厂——茅洲河底泥处理厂。该厂每月能处理底泥15万 $m^3$ ,具备年处理100万 $m^3$ 底泥的能力,在建成的4年里,已处理超过300万 $m^3$ 底泥,不仅解决了长期困扰地方政府的污染物出路问题,还可以利用这些河流治理过程中自身清淤产生的底泥,经过垃圾分拣、提砂、混凝、机械脱水等工艺技术,得到底泥渣土;并以渣土为原料,制备陶粒作为人工湿地填料,用于茅洲河沿岸景观带建设,同时富余部分还可供社会消纳。项目通过对上述制得填料的回填、建材,实现了河湖污泥资源化利用,研发出绿色可持续的治理技术。

**d. 打造智慧水务。**茅洲河治理项目为满足政府为主的利益相关方后期管理方面的需求,打造的智慧水务平台引入现代信息技术,促进各涉水学科的交叉融合,提高对流域水资源、水环境的精确把控。智慧水务在治理过程中直观展现出供水管网的具体位置、使用型号、易出错点等信息,使得治水思路、方略和决策更为科学,同时可为后期相关部门以及养护单位的日常监督和管理提供技术支撑,大大提升了茅洲河流域水务综合管控和防洪防涝指挥调度与应急处置水平。与传统水务相比,智慧水务可以全天候保障水质安全,通过监测数值判断水质是否受到污染,若发现异常可根据具体位置与情况快速解决异常问题,从而节约人工成本并提高效率。同时,智慧水务能够更好地整合整体水务调度,通过分析用水地区、用水高低峰期等信息,基于预测与推断按需调度水资源。此外,深圳市水务局组织实施一系列水利信息化建设项目,建成了业务全覆盖的水务信息自动化采集体系,基本构成上至省水利厅、市政府,下至各区防洪设施管理处、水库管理部门、治河办等直属单位的互联网络,实现了水务信息共享。

**e. 加强协同治理。**流域治理要打破行政边界的束缚,一方面做到水流域整体各行政区域经济发展的统一协调,另一方面更要考虑流域的整体自然

边界,充分保护与水流域整体相关的生态环境及其要素。茅洲河作为深圳市和东莞市的界河,其交界河段的责任归属问题也一度让治理陷入困境。为达到水质考核要求,不仅需要深圳内部宝安区与光明新区采取水污染控制措施联动,还需要深莞联动,为此两市建立了共治机制,对流域内水环境实施协同治理。区域环境治理除了地域上的合作,还需要不同利益相关方的协同。早期的茅洲河治理工程因为管道建设由市、区、街道、社区四级投资,分别委托的施工方之间缺乏协同,导致管网不成系统,出现大量错接乱排、断头工程,污水处理厂建设不同步,沿岸工厂、居民不配合。这些利益相关方之间缺乏协同,很大程度上阻碍了项目的进程。综上,对于跨区域、多主体的大型水环境综合治理工程,首先需要明确政府治污的主体责任,同时流域内的其他利益相关方要共同参与、彼此协作,建立全流域联合治污、各部门协作联动的机制,形成环境治理新格局。

## 5 结 语

在当前我国洪涝灾害频发,水资源分配不均,水环境污染严重的背景下,针对特定流域的水环境综合治理已刻不容缓。对茅洲河流域水环境综合治理工程中的决策阶段、设计阶段、实施阶段、竣工验收阶段和运营维护阶段进行全生命周期管控,把握不同阶段的侧重点,采取不同的应对措施。该项目保证了治理工程的顺利完工,提高了沿岸市民的生活水平,推动了流域内产业和城市化发展,取得了良好的经济、社会和生态效益。基于该项目,本文总结出一套先进的水环境治理经验,包括开创性的治理模式、立体化的治理理念、先进的治水科技和智慧水务、多方协同的治理格局等,这些都为全省乃至全国界河流域水环境综合治理提供了借鉴经验。

## 参考文献:

[ 1 ] 彭文启,刘晓波,王雨春,等. 流域水环境与生态学研究回顾与展望[J]. 水利学报,2018,49(9):1055-1067.

[ 2 ] 刘宁. 大江大河防洪关键技术问题与挑战[J]. 水利学报,2018,49(1):19-25.

[ 3 ] 刘翔,李森,周方,等. 城市水环境综合整治工程原理与系统方法[J]. 环境工程,2019,37(10):1-5.

[ 4 ] 褚俊英,王浩,周祖昊,等. 流域综合治理方案制定的基本理论及技术框架[J]. 水资源保护,2020,36(1):18-24.

[ 5 ] 褚俊英,周祖昊,王浩,等. 流域综合治理的多维嵌套理论与技术体系[J]. 水资源保护,2019,35(1):1-5.

[ 6 ] RODRIGUEZ O, PERALTA-HERNANDEZ J M, GOONETILLEKE A, et al. Treatment technologies for

emerging contaminants in water: a review [J]. Chemical Engineering Journal, 2017: S1385894717306502.

[ 7 ] TRAN N H, REINHARD M, GIN Y H. Occurrence and fate of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plants from different geographical regions: a review[J]. Water Research, 2018, 133:182-207.

[ 8 ] 廖雅,侯晓姝,任晓红. “三水”统筹视角下京津冀地区城市水生态环境保护策略分析[J]. 环境科学 2022,43(4):1853-1863.

[ 9 ] 魏源送,常国梁,吴敬东,等. 基于“源-流-汇”的非常规水源补给河流水质改善与水生态修复专刊序言[J]. 环境科学学报,2021,41(1):1-6.

[ 10 ] 罗小林,尹长文,张国新,等. 北京市水环境现状及流域综合治理措施[J]. 水资源保护,2021,37(5):140-146.

[ 11 ] 高娜,杨雨欣,郝蕊芳,等. 北京市北沙河上游典型小流域水环境治理措施的生态效益分析[J]. 环境科学学报 2022,42(2):32-41.

[ 12 ] 许申来,王浩正,刘龙志,等. 城市级水环境治理技术组织管理的思考与展望[J]. 中国给水排水,2021,37(8):1-7.

[ 13 ] 吴兆丹,王晓霞,吴兆磊,等. 科技支撑水环境治理作用机制研究[J]. 水利经济,2019,37(4):42-47.

[ 14 ] 包晓斌,朱晓兵. 淮河流域水环境治理对策[J]. 水利经济,2021,39(4):35-40.

[ 15 ] VERNON R A. International investment and international trade in the product cycle [J]. The International Executive, 1966, 8(4):16.

[ 16 ] 丰景春,张云华,薛松. 水利基础设施领域公私合作伙伴项目全生命周期研究[J]. 水利经济,2016,34(2):1-5.

[ 17 ] FREEMAN R E. Strategic management: a stakeholder approach [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

[ 18 ] CLARKSON M E. A stakeholder framework for analyzing and evaluating corporate social performance[J]. Academy of Management Review, 1995, 20(1):92-117.

[ 19 ] LI H,ZHANG X,NG S T, et al. Quantifying stakeholder influence in decision/evaluations relating to sustainable construction in China : a Delphi approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 173:160-170.

(收稿日期:2022-01-12 编辑: 骆超)

