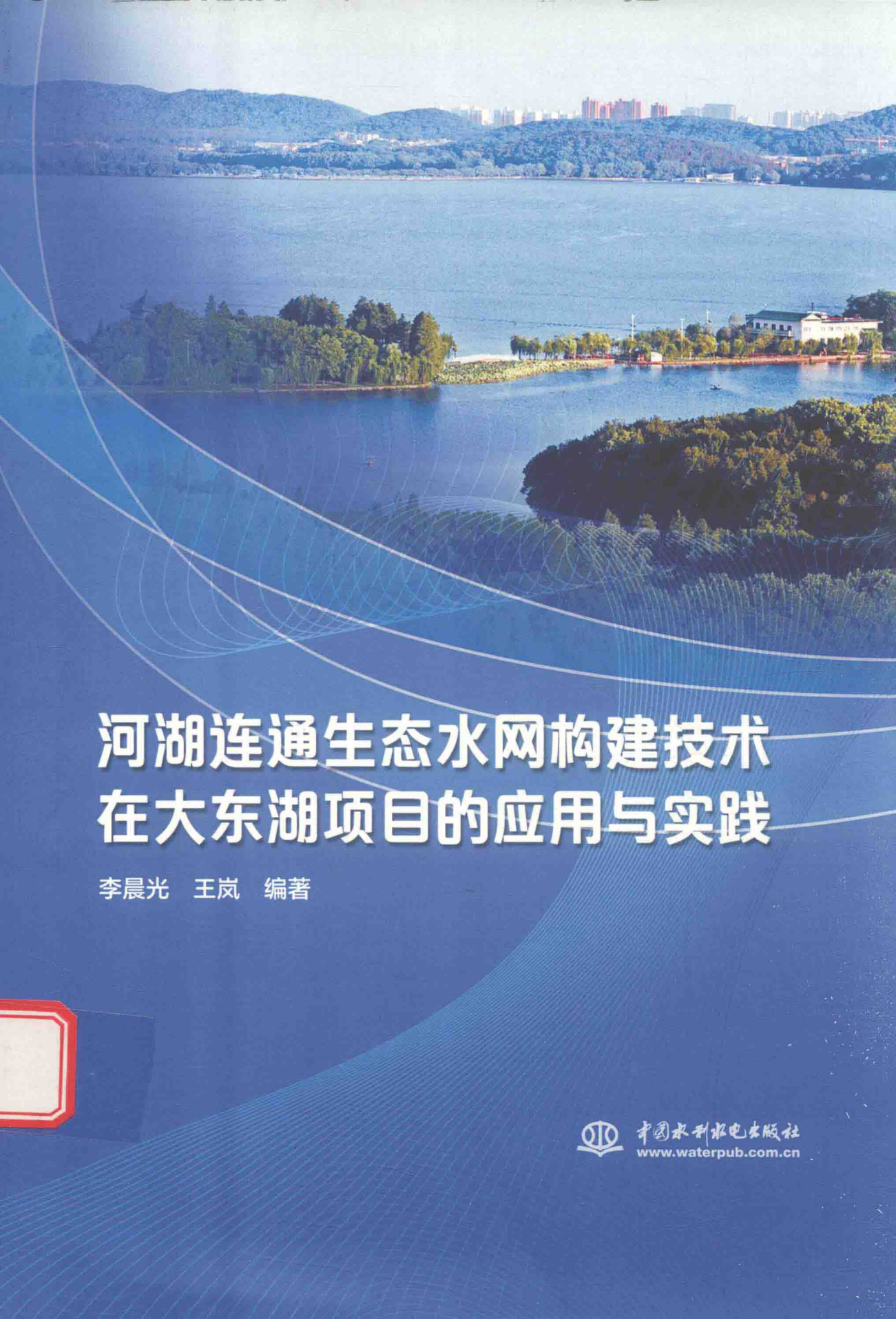




河湖连通生态水网构建技术 在大东湖项目的应用与实践

李晨光 王岚 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

河湖连通生态水网构建技术 在大东湖项目的应用与实践

李晨光 王岚 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书围绕生态水网构建的关键技术,进行国内外技术的总结和提炼,形成生态水网构建技术体系,包括生态引水口工程技术、河渠保护与综合整治技术、湖泊底泥生态处理技术和水利调度技术等,并以武汉大东湖生态水网连通工程项目为平台,开展生态水网构建技术的应用和推广,在结合武汉大东湖区域环境及水情的基础上,指导优化大东湖水网连通工程的设计与施工,同时对已实施的区段进行监测和评估,分析其效果。

本书可供河湖连通生态水网构建技术推广应用的相关单位借鉴,也可供政府部门、工程技术人员及科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

河湖连通生态水网构建技术在大东湖项目的应用与实践 / 李晨光, 王岚编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017. 4
ISBN 978-7-5170-5366-8

I. ①河… II. ①李… ②王… III. ①生态型—水系—研究 IV. ①TV213. 4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第088497号

书 名	河湖连通生态水网构建技术在大东湖项目的应用与实践 HEHU LIANTONG SHENGTAI SHUIWANG GOUJIAN JISHU ZAI DADONGHU XIANGMU DE YINGYONG YU SHIJIAN
作 者	李晨光 王 岚 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京中献拓方科技发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12.25印张 290千字
版 次	2017年4月第1版 2017年4月第1次印刷
定 价	58.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

水利部科技推广计划自 2003 年实施以来,紧密围绕水利重点工作,突出强调生产实际需求,大力加强先进实用水利科技成果的中试、转化、示范、推广以及宣传培训,重视发挥科技推广以点带面、辐射带动效应,为促进水利行业技术和设备升级换代、全面推进水利现代化建设发挥了重要作用。

湖北江河纵横,湖泊星罗棋布,素有“千湖之省”的美誉。武汉市坐落于长江、汉水交汇处,境内河湖水系发育,共有湖泊 166 个,其中中心城区有 40 个。随着城市化、工业化进程的加快,武汉市城区水域尤其是湖泊污染严重,已影响到区域经济社会发展和人民生活质量。因此,构建武昌大东湖生态水网工程,引江水入湖,增强水体流动,促进生物交换,改善水生态环境,恢复和保护河湖生态健康,成为生产实践所急需解决的重要问题。

2013 年,根据湖北省武汉市大东湖生态水网构建总体方案,结合武汉城市建设发展和环境保护的需求,水利部科技推广计划立项支持“河湖连通生态水网构建技术在武昌大东湖项目中的示范推广”项目。针对大东湖生态水网构建工程在设计和施工中存在的难点和遇到的实际问题,该项目提出生态水网构建的生态引水口技术、河渠保护和综合整治技术、底泥处理技术和水利调度技术等 4 个关键技术,并对国内外的关键技术进行总结、提炼,以期优化设计大东湖水网连通工程方案。同时在青山港、曾家巷两处引水口,东湖港、九峰渠、青山港等 18 条水网内连通港渠,东湖、沙湖等 8 个湖泊开展推广示范实践,借助大东湖水网连通工程平台为湖北省其他河湖治理进行关键技术的应用和推广。通过大量的试用研究,为进一步大规模推广积累了基础数据,提供了实践经验,同时起到了示范带动作用。项目的实施对于河湖连通生态水网构建技术的推广应用具有重要意义,产生了显著的社会效益、经济效益和环境效益。

本书围绕生态水网构建的关键技术,进行国内外技术的总结和提炼,形成生态水网构建技术体系,包括生态引水口工程技术、河渠保护与综合整治技

术、湖泊底泥生态处理技术和水利调度技术等，并以武昌大东湖生态水网连通工程项目为平台，开展生态水网构建技术的应用和推广，在结合武昌大东湖区域环境及水情的基础上，指导优化大东湖水网连通工程的设计与施工，同时对已实施的区段进行监测和评估，分析其效果。本书从技术理念、技术方案以及应用后的效果评估等方面对河湖连通生态水网构建的关键技术进行了全面的阐述和分析，以期对河湖连通生态水网构建技术的推广应用和类似推广项目的组织提供借鉴，也可供政府部门、工程技术人员及科技工作者参考，使得科研成果直接用于生产，科研和建设同步进行和互相促进。本书编写过程中，得到了湖北省水利水电规划勘测设计院的大力支持，在此表示衷心感谢！

限于时间及编者水平，书中错误与不足之处在所难免，敬请不吝指教，以便补充修改。

编者

2016年12月

目 录

前言

1 国内外关于生态水网构建技术的研究现状	1
1.1 生态引水口技术现状	1
1.2 河渠保护与综合整治技术现状	2
1.2.1 国外研究进展	2
1.2.2 国内研究进展	3
1.3 湖泊清淤及底泥处理处置技术现状	3
1.3.1 湖泊底泥疏浚技术现状	3
1.3.2 底泥处理技术现状	4
1.3.3 底泥处置技术现状	4
1.4 水力调度技术现状	5
1.4.1 国外研究进展	6
1.4.2 国内研究进展	7
2 大东河流域特征及水环境状况分析	8
2.1 大东河流域的基本特征	8
2.1.1 自然地理	8
2.1.2 水文气象	8
2.1.3 水系历史演变过程	8
2.1.4 大东湖水系	9
2.2 大东河流域水资源水环境状况	11
2.2.1 武汉市水资源概况	11
2.2.2 湖泊功能	11
2.2.3 湖泊水环境现状	11
3 生态引水口技术	21
3.1 生态引水口功能要求	21
3.2 引水口除磷技术方案	21
3.2.1 引水口除磷方式选择	21

3.2.2 引水口除磷方案研究	22
3.3 引水口除螺技术方案	24
3.3.1 钉螺的生物特性	24
3.3.2 钉螺的水力特性	28
3.3.3 引水口除螺措施研究	30
3.3.4 引水口除螺方案研究	35
3.4 引水口沉沙技术方案	37
3.4.1 引水口沉沙方案选择	37
3.4.2 沉沙池方案研究	38
3.5 引水口生物交换技术方案	42
3.5.1 鱼类的向流、繁殖及洄游习性	42
3.5.2 生物交换技术方案	49
3.6 生态引水口集成方案	56
3.7 生态引水口应用于大东湖的效果分析	56
4 河渠保护与综合整治技术	58
4.1 城市河渠生态保护与综合整治的理念与技术	58
4.1.1 城市河渠生态保护与综合整治理念	58
4.1.2 城市河渠生态保护与综合整治技术	59
4.2 国内外河渠治理案例	65
4.3 河渠保护与综合整治技术在大东湖项目中的应用	71
4.3.1 港渠生态环境现状	71
4.3.2 渠道功能定位	72
4.3.3 港渠规划	73
4.3.4 典型工程	76
4.4 效果评估	81
4.4.1 河渠功能得到极大提升	81
4.4.2 河渠环境得到极大改善	82
5 湖泊底泥生态处理技术	84
5.1 湖泊底泥疏浚及处理处置	84
5.1.1 湖泊底泥疏浚	84
5.1.2 湖泊底泥处理与处置	93
5.2 武汉城市圈湖泊清淤及底泥处理处置工程应用	106
5.2.1 沙湖湖泊清淤工程	106
5.2.2 青山湖湖泊清淤工程	108
5.2.3 东湖天下清淤工程	109
5.3 大东湖底泥疏浚及处理处置技术方案	110
5.3.1 大东湖底泥疏浚深度范围	110

5.3.2	大东湖底泥疏浚施工方式	110
5.3.3	大东湖底泥处理处置技术推荐	114
5.4	效果评估	119
5.4.1	已有工程清淤效果分析	119
5.4.2	大东湖底泥疏浚及处理处置技术方案效果评估	120
6	水力调度技术应用	122
6.1	水网连通方案的拟订原则	122
6.1.1	引水方式	122
6.1.2	连通方案	122
6.2	引调水数值模拟研究	124
6.2.1	数学模型的建立	124
6.2.2	模型率定和验证	127
6.2.3	不同引水方案湖泊水质模拟	130
6.2.4	不同引水流量湖泊水质模拟	137
6.2.5	水文代表年系列引水湖泊水质模拟计算	140
6.2.6	曾家巷泵站引水效果模拟	144
6.2.7	降低污染物迁移风险的引水调度策略模拟分析	146
6.2.8	引调水数值模拟研究结论	149
6.3	水力调度方案	150
6.3.1	调度原则	150
6.3.2	运行水位	150
6.3.3	引水调度	151
6.3.4	排水与洁净雨水资源利用	153
6.4	东沙湖连通后水力调度效果评价	154
6.4.1	项目实施情况	154
6.4.2	水质监测情况与评价	156
6.4.3	东沙湖渠连通后水质模拟	172
6.4.4	排水优化调度评价	182
参考文献		187

1 国内外关于生态水网构建技术的研究现状

1.1 生态引水口技术现状

生态引水口工程技术是通过工程措施,在取水源头上保证从河流引入河湖水体的水质满足湖泊生态水质要求,同时能达到生物交换的目的。

目前生态引水口工程措施工程技术也比较成熟,但功能比较单一,如除螺措施有中层取水、修拦螺网及修建沉螺池等,对含沙量较大的一般采取沉沙池沉沙措施等。在城市水网连通工程中,对于引水的要求往往是多方面的,不仅要考虑泥沙淤积问题,还要考虑水质要求,同时兼顾生物交换。在血吸虫疫区,引水往往还有除螺的要求。

随着城市和工业的不断发展,以及农业化肥和含磷洗涤剂的大量使用,大量未经处理的生活污水和工农业废水排入湖泊和江河之中,造成湖泊水体水质污染严重。经济社会高速发展的今天,人们对环境保护意识越来越强,对人居环境要求越来越高,实施水网连通工程,增强城市水体流动性,提高水体自净能力,是开展城市水环境改善的必要措施。

西湖是杭州的灵魂,古有“风情西子,游人折腰”之美誉,而今由于长年污染,西湖所担负的生态负荷已经达到极限,到了失衡的边缘。西湖虽经彻底疏浚,由于湖西溪涧来水污染不断,湖水透明度仍然很低,TP、TN等关键指标都超标,属于V类水体,远远达不到风景湖泊Ⅲ类水体的要求。为了让西湖恢复以往的诗意胜景,杭州市政府于1986年实施西湖引水工程,从钱塘江通过两个水预处理厂进行降磷、降氮沉淀处理后引水入西湖,日引水量为40万 m^3 ,确保西湖水一个月更新一次,让西湖恢复以往的诗意胜景,使西湖水质得到明显改观。西湖生态引水工程是国内生态引水工程成功的一个范例。

太湖引江济太工程调水增加了流域河网水量、改变了流域河网水流条件,使受水区范围内河网水环境状况得到了明显改善。调水后,望虞河水质平均改善两个类别,污染物浓度平均降幅超过50%;太浦河水质改善了一个类别,同时有效改善了黄浦江上游水质;望虞河西岸主要支流伯渎港、九里河、锡北运河、张家港在白屈港以东范围内的河段,引水后的水质均由劣V类转变为Ⅲ~Ⅳ类。调水对太湖水质改善起到积极作用,2003年太湖富营养化关键性水质指标总磷浓度改善幅度达31%,富营养化状况得到一定缓解;太湖水质有机污染指标高锰酸盐指数(COD_{Mn})浓度改善幅度为19%,满足Ⅱ类和Ⅲ类饮用水标准的水体面积增加了15%。2002年、2003年调水缩减了大部分湖区换水周期,减轻了太湖藻类水华。由于生物变化的滞后性,仅直接受水区浮游植物、浮游动物群落结构受到一定影响,贡湖湾出现清洁水体的浮游植物种类,其他区域浮游植物、浮游动物、水生植物及底栖生物基本未受到显著影响(《引江济太调水效果评估》)。

国外生态引水工程中比较成功的是韩国清溪川引水工程。穿越首尔的清溪川曾经是一条汇集城市污水的地下“臭水沟”,2005年9月,耗资巨大的“复原工程”终于让这条古



老的河流死而复生。如今,清溪川成为首尔的一张城市名片。众多综合措施中,从水质较好的汉江引水并进行预处理后对清溪川的水进行交换是最关键的措施。

1.2 河渠保护与综合整治技术现状

城市河道作为重要的资源和环境载体,是城市生存与发展必不可少的要素,在城市及周边地区经济发展和生态保护中,有着十分重要的地位。

随着社会经济发展和城市化进程的加快,人类对城市河道的干扰日益强烈,相对于郊区以及农村河道,其河流自然形态、河流系统的活动空间、河流的水生态系统等日渐缩小与退化。由于城市河道是影响城市风格和美化城市环境的重要因素,传统的河道工程治理技术已不能满足城市河流治理的要求,以生态学为基础,追求人与自然和谐发展的城市河道生态综合治理已越来越受到国际社会的关注和重视,相关研究工作在国内外得到广泛开展。

1.2.1 国外研究进展

国外一些发达国家对城市河道综合治理的研究较早,尤以欧洲为先。1938年,德国学者 Seifert 首先提出“近自然河溪治理”的概念,要求在完成传统河道治理任务(如防洪、供水等功能)的基础上,达到接近自然、经济,并保持景观美。20世纪50年代,德国正式创立了近自然河道治理工程理论,提出河道整治要植物化和生命化,从而使植物首先作为一种工程材料被应用到工程生物治理之中。1965年,德国 Ernst Bittmann 在莱茵河用芦苇和柳树进行了生物护岸试验,初步形成生物护岸技术。

此后,随着生态学的发展与应用,人们对于河流治理有了新的认识,近自然河溪治理的研究日渐深入。1971年,德国学者 Schlueter 提出“近自然治理”新目标,既要满足人类对河流利用的要求,又要维护或创造河流的生态多样性,进一步深化了 Seifert 的近自然河溪治理理念。至20世纪70年代中期,德国开始了真正的河流治理生态工程实践,对河流进行了自然保护与修复的尝试,被称为“重新自然化”。随之瑞士、法国、奥地利、荷兰等国也在河道治理中开始运用生态工程技术。20世纪70年代末,瑞士学者 Christian Gldi 将德国 Bittmann 的生物护岸法进一步丰富并且发展为“近自然工法”(多自然型河道生态修复技术),其主导思想为拆除已建混凝土护岸,修建柳树和自然石块护岸,为鱼类等水生动植物提供生存空间,并提倡将直线形河道改为有深浅变化的蛇形弯曲自然河道,使河流保持自然状态。1983年, Binder 发表文章,指出近自然治理应首先考虑河道特性,如水力学特性、地貌学特性、河流自然状态等,将河溪的自然状况作为衡量河道整治与人为活动干预程度的标准。1985年, Holzmann 对近自然治理提出了一个相对准确的目标,强调生态多样性在生态治理方面的重要性,河道治理要注重工程治理与周边自然景观的和谐性,通过生态治理(应该)创造出一个具有不同水流断面、不同水深及不同流速的河道,其岸边植被应是具有多种小生境的层级结构。至20世纪80年代末,德国已率先提出“近自然型河流”概念和“自然型护岸”技术,即河流规划与建设应以接近自然为标准,并以模拟自然为主,该河道治理理念及技术对指导各国城市河道治理意义重大。

例如,美国在20世纪70年代确立了与自然相协调的可持续河流管理理念,学者



E. Gerald和 M. Galloway 于 1993 年提出了与经济、生态、文化可持续性相融合的河流管理新模式。自 20 世纪 90 年代以来,美国采用了近自然工法使城市河道治理取得良好效果,对河道的生态整治工程已扩大到整个流域尺度的整体生态恢复。

在日本,20 世纪 80 年代中期,日本对河流的整治引进了“亲水”的新理念,其河川局还制定了“推进多自然型河流建设”的法规,并于 20 世纪 90 年代初开展了“创造多自然型河川计划”。日本为挽救城市河流的生态,政府采取了“放任自流”的办法,使流经城市河流两岸重新草木葱茏,堤坝不再用水泥板修造,而是改用天然石块铺砌,还给草木自然生长的空间。

1.2.2 国内研究进展

国内关于城市河道治理方面的研究起步较晚,尚处于初级阶段,其针对城市河流的研究主要集中在河流生态修复、河流污染综合治理及生态护坡等方面,目前正逐步加大研究力度。

河流生态修复方面,杨芸简述了国外多自然型河川治理对河流生态环境的改善作用,对成都府河提出多自然型河道治理方法。刘晓涛从我国城市河道不同功能出发,提出城市河流治理的对策与措施,包括建设生态河堤、保护水面、建立滨水环境等。杨海军等开展了城市受损河岸近自然修复过程的自组织机理研究。董浩平等在城市河流整治中,引入景观设计的内容,提出将河道生态修复与景观设计有机结合。夏梦河等对河流生态系统修复中有关尺度、重点及程度问题进行了探讨。

河流污染综合治理方面,汤建中、宋韬等总结了国外治理城市河流污染的相关经验,并对苏州河治理提出了建设意见。唐礼智等针对苏州河水质污染的特定状况,推行支流截污、引清调水、沿岸绿化等工程措施,综合治理苏州河水质污染。黄伟来、李瑞霞等综述了我国城市河流的水污染现状,提出了综合整治措施与河道长效管理机制。

生态护坡建设方面,胡海泓等人在广西漓江治理工程中,提出了石笼挡墙、网笼垫块护坡、复合植被护坡等生态型护坡技术。季永兴、刘水芹等综合分析了城市原有河道护坡结构及其对环境水利和生态水利的影响,提出了对城市河道整治坡面采用生态护坡结构的建议,并探讨了不同材料的生态护坡结构新方法。陈海波等在引滦入唐工程中,提出网格反滤生物组合护坡技术。卢志灵根据上海市河道的具体特点,讨论了生态型护坡结构型式。王新军、罗继润从生态水力学角度分析了城市河道的特点和城市河道护岸工程的现状及其主要问题,并对建设生态护岸提出了一些设想。王雪、田涛等通过分析城市河道在生态型护岸工程和景观设计两个方面的研究成果,探讨了我国城市河道整治应注意的问题,为我国城市河道的生态治理提供参考。

1.3 湖泊清淤及底泥处理处置技术现状

1.3.1 湖泊底泥疏浚技术现状

湖泊底泥疏浚是通过底泥的疏挖去除湖泊底泥所含的污染物,清除污染水体的内源,减少底泥污染物向水体的释放,并为水生生态系统的恢复创造条件。湖泊底泥疏浚主要有



干水机械疏挖、水力冲挖和 underwater 环保疏浚几类方式。水下环保疏浚根据使用设备不同又分为耙吸式挖泥船、抓斗式挖泥船、绞吸式挖泥船等疏浚方式。

湖泊底泥疏浚在国内外已经有几十年历史，荷兰 Kelemeer 湖、瑞典 Trummen 湖、美国伊利湖和安大略湖南部、匈牙利 Balaton 湖等湖泊主要采用水下环保疏浚方式，进行了较大规模的湖泊底泥疏浚。

在国内，目前比较典型的湖泊底泥疏浚工程有：太湖、杭州西湖、滇池、安徽巢湖、南京玄武湖、长春南湖、南昌八一湖、广州东山湖和麓湖等，主要也是采用水下环保疏浚方式。这些疏浚工程在其他措施的配合下，多数缓解了水域的污染状况。

在国外，一些发达国家和地区从 20 世纪 70 年代就开始致力于水下环保疏浚技术的开发和设备的研制，包括专用疏浚设备和改装设备。采用专用疏浚设备工程费用较高，目前国内外所使用的环保疏浚设备多为在普通挖泥船上对某些挖泥机具进行环保改造而成，同时配备先进的高精度定位和监控系统，以提高疏浚精度，减少疏浚过程中的二次污染，满足环保疏浚的要求。

1.3.2 底泥处理技术现状

河湖疏挖出来的底泥含水率高、强度低，且多数含有有毒有害物质，其合理的处理越来越受到各方面的关注。

底泥处理即将疏挖出来的原生底泥经过一系列的工艺处理成含水率相对较小，并与最终处置方法相适应的底泥。底泥的处理应遵循减量化、无害化、资源化的原则。

目前，底泥的处理方法主要有浓缩、消化、脱水、干燥等，其中浓缩与消化法在国外应用较多，而脱水法、干燥法在国内应用较为广泛。

对底泥进行处理的系统与装备，发达国家在 20 世纪 60 年代就已达到先进的成套化水平，如底泥浓缩脱水设备、底泥消化系统设备、底泥干燥焚化设备、沼气综合利用设备、底泥高温堆肥系统装备以及底泥固化工业利用技术与设备，80 年代末又启用湿式氧化技术处理底泥。

在我国，底泥处理的侧重点为“脱水”，即减小底泥的含水率，常用的底泥处理技术包括自然脱水干燥法、真空预压脱水法、土工管袋法、机械脱水法、搅拌固结法、脱水固结一体化等。

1.3.3 底泥处置技术现状

经过几十年的发展，欧美、日本等发达国家已形成了相对完善的底泥处置技术，相关的法律法规及标准规范已比较完善。常用的底泥处置方式包括卫生填埋、大海投弃、焚烧、土地利用（具体分为园林绿化、农用、工程填筑、堆岛造景等）等。

为避免底泥对环境的二次污染，各国政府及研究机构对底泥的最终处置问题十分重视，并根据各国的国情制定出底泥处置的法规和具体方案。现存的底泥处置方法有多种，但各有其优缺点。底泥处置技术的选择也应遵循稳定化、无害化、减量化和资源化的原则。也就是说，应在考虑环境效益和社会效益的前提下，尽可能提高其经济价值。

国外底泥或用于农林绿化，或焚烧处理，或投海疏散，另有很少部分以其他方式处置或利用。一般来说，底泥农用费用最低，其次为填埋方法，处理费用最高为焚烧方法，其



处理费用约为底泥农用费用的 3.8 倍, 约为底泥填埋费用的 2.1 倍。由此可见, 农用和填埋是国外大多数国家进行湖泊底泥处置的两种主要方法。农用和陆地填埋方案的选择很大程度上取决于各国政府有关的法律、法规和污染控制状况, 同时也与国家的大小和农业发展情况有关。

美国所产生的湖泊底泥约 60% 用于农业土地利用, 17% 填埋, 20% 焚烧, 3% 用于矿山恢复的覆盖。欧盟各国虽然对土地利用的限制越来越严格, 但对该方式依旧保持大力支持的态度, 使底泥土地利用成为欧盟最重要的处理处置方式。

欧盟产生的底泥约 55% 用于土地利用, 26% 焚烧, 16% 填埋, 3% 采用其他方式处置。总的来说, 欧盟底泥土地利用率不断上升, 各成员国的底泥资源化利用项目也大幅增加。欧盟的最新统计数据表明, 由于法规政策的导向作用使底泥处置方式有了很大的变化, 底泥填埋所占比例大幅度下降 (从 1997 年的 41% 下降到 2003 年的 7%), 这是由于欧盟提高了填埋标准所致; 底泥农用所占比例 (25%) 也有 12% 的下降, 这是由于底泥农用受到了农民以及食品业的抵制; 与此同时焚烧从 1997 年的 11% 上升到了 36%, 成为替代工艺。从 2003 年的数据还可知, 有 10% 的底泥回用于建筑业, 反映了底泥循环利用的趋势。

近年来, 日本对底泥处理处置技术路线进行了战略调整, 逐渐转向资源化利用, 底泥焚烧灰也用于生产建筑材料。

我国产生的湖泊底泥约 48.28% 用于土地利用, 34.48% 填埋, 3.45% 焚烧, 13.79% 未进行合理处置, 总体状况以土地利用为主, 大部分用于农业。未进行合理处置的底泥, 将会对环境带来潜在的危害。结合我国人口众多, 资源和能源相对匮乏的基本国情, 底泥的再利用技术非常具有开发价值。各级政府及相关人员大力倡导“循环经济”与“可持续发展”, 并出台了一系列的政策、规划, 如《“十二五”资源综合利用指导意见》《废弃物资源化科技工程“十二五”专项规划》等, 均对以底泥资源化和能源化为侧重点的处理处置方式给予了充分关注, 并对相关企业和行为进行支持和奖励, 可见底泥的资源化和能源化利用将是未来处置技术发展的大方向。

综上所述, 欧美、日本等发达国家底泥处理处置的总体思路是资源化利用, 并将土地利用作为底泥处置的主要方式和鼓励方式。

我国的国情也决定了底泥作为土地利用和资源化是处置技术的重点。因此, 与此处置方式相适应的消化 (包括厌氧消化、好氧发酵等) 处理工艺, 以及建材制造、用于筑路、回填堤岸等资源化处理处置技术将会是国际上底泥处理处置的研究重点, 在保证底泥无害化的前提下, 实现底泥最大程度的利用已经成为国际底泥处理处置领域发展的趋势。

1.4 水力调度技术现状

湖泊水动力学过程在湖泊研究中起着重要的作用, 在很大程度上影响着水体-大气、水体自身、水体-沉积物之间物质传输、能量交换与转化等过程, 是研究湖泊变化规律的基础。湖泊水动力学过程的研究手段主要包括野外观测、物理模型和数值模型等。前两种方法因受人力和物力的限制, 很难系统地开展研究。而数值模型方法随着计算机技术的发展, 能够精细而全面地模拟湖泊水动力过程, 再加上耗资少、不受时间限制的优点, 在湖



泊研究中发挥着越来越重要的作用。

湖泊水质数值模型是描述湖泊水体中污染物随空间和时间迁移转化过程的数学方程,用于表达污染物质在环境中的变化规律及其影响因素之间相互定量关系。这既是湖泊水环境科学研究的重要内容之一,又是环境变化研究的重要工具,涉及湖泊水环境科学的多种基本理论问题和水污染控制的许多实际问题。湖泊水质模型的发展在很大程度上取决于对污染物质在水体中的迁移、转化过程研究的不断深入,以及计算机技术在水环境研究中应用程度的不断提高。水质模型在理论上从最初的物质和能量守恒原理发展到如今的随机理论、模糊理论和灰色理论;而在研究方法上,也从最初的以简单解析解和浓度表达为主,发展到现在的以人工神经网络模拟辅助的解析解以及与地理信息系统相结合的数值解。这些研究成果都对湖泊水环境管理技术的现代化起到了极大的推动作用。

1.4.1 国外研究进展

水动力模型的应用最早可以追溯到 20 世纪 70 年代,Simons 建立了安大略湖冬季环流的二维数值模型,讨论了地球自转、底部地形、动量的侧边界扩散以及不同底部摩擦的特点。Endon 使用水动力模型对日本琵琶湖开展了深入的工作,弄清了琵琶湖水动力学过程的特征及形成机制,为保护湖泊的生态环境提供了依据。Kresimit 建立了一个日本琵琶湖三维斜压水动力学数值模式,详细模拟了湖泊环流结构及内波。尽管这些年,湖泊水生态模型逐渐成为湖泊环境管理研究的热点,但作为基础的水动力模型仍然获得了很大的发展。

自 20 世纪初期水质模型诞生以来,经过一个世纪的发展,其发展的过程大致可以分成以下几个阶段:

(1) 1925—1960 年是水质模型发展的第一阶段。1925 年,美国工程师 Streeter 和 Phelps 在对 Ohoi 河流污染源及生活污水造成的影响研究中,提出了氧平衡模型的初始形式,该模型最初是被用于市政排水工程的设计以及简单的水体自净过程研究,后来的科研工作者在此基础上,又成功地将 BOD-DO 耦合模型运用于水质预测方面。

(2) 1960—1965 年,水质数值模型在 Streeter-Phelps 模型的基础上又有了进一步的发展,不仅引进了空间变量和动力学系数,温度因素也作为状态变量被引入到湖泊水质模型中,同时考虑了气液交界面的热交换,水动力学方程、平流扩散方程作为溶质迁移过程的基本数学描述而被用于水质模型。

(3) 1970—1975 年期间,水质数值模型已经发展成为相互作用的线性化体系,此时,生态水质模型的研究也初见端倪,有限元模型被广泛地应用于二维体系,水质模型计算中也开始出现有限差分技术。

(4) 20 世纪 80 年代以来,随着形态分析的不断成熟,一些科研工作者开始了形态模型的探索,这一研究的关键是改善模型的可靠性和评价能力。同时,随着计算机技术的不断进步,水质数学模型的研究取得了突破性的进展。Grenney 开发了美国环保局推荐使用的 QUAL-II 水质模型,目前该模型已经在水质预测和管理规划中被广泛地应用。1983 年美国国家环保局环境研究实验室开发了 WASP 模型,为各类地表水体中污染物输移扩散的数值模拟提供了有效的工具。



1.4.2 国内研究进展

国内关于水动力学的数值模拟研究起步较晚,直到20世纪80年代中期才有一部分学者开展了相关研究工作。吴坚在国内首次建立了基于整层积分形式的浅水湖泊二维水动力学模型,采用不规则的网格有限差分,能够较为精确地与湖岸、湖底地形及岛屿相拟合。在此基础上应用于太湖风生流模拟,研究发现了太湖的风生流及风涌增减水的幅度取决于风力和风程。目前,二维模型已经比较成熟,被广泛地应用于实际工程计算中。吴炳方等人采用二维非恒定流水动力学模型研究了洞庭湖湖流运动规律。龚春生等应用二维有限元数学模型对玄武湖风生流进行了数值模拟,获得玄武湖混合流流场特点,即混合流受到吞吐流作用影响较弱,受到风作用影响较强。不过,二维水动力模型也存在一些不足,比如不能得到垂向流速、湖泊表面的风拖曳应力和湖泊底部的摩擦阻力只是采用半经验公式进行计算等。水深变化较大的湖泊由于垂向上存在强烈的混合作用,就必须建立三维模型来模拟实际的湖泊水动力特征。张发兵等人通过 σ 坐标下的三维水动力学模型研究了湖底地形对风生流的影响。胡维平、濮培民用垂直方向进行了归一化处理的三维数学模型开展了太湖风生流水平与垂直分布的研究。韩龙喜等建立三维水动力学模型,选取典型风场分析了高盐度湖泊风生流形成过程。发展至今,湖泊水动力数值模拟已经广泛地应用于实际工程计算,并在不断地完善中。

我国关于水质模型的研究工作同样落后于西方国家,直到1972年官厅水库发生重金属污染事件后,湖泊水环境污染问题才引起相关研究人员的重视。不过,经过了近40年的不断发展,国内的湖泊水质模型研究也取得了一定成就,理论和应用逐渐成熟。河海大学王惠中从风作用下湖泊水流运动的基本特性出发,在Koutitas和韩国其构建的准三维风生环流模型的基础上,充分考虑了垂向涡黏系数沿深度方向的变化,对其计算模式进行了改进,建立三维水质模型对太湖主要污染指标(COD)进行了模拟和分析,并提出了若干太湖流域水污染防治的对策和建议。上海市科委组织的苏州河综合整治工程,通过WASP模型建立了主要用于研究点源污染问题的一维感潮河网水动力水质模型,并开发了基于该模型和地理信息系统技术的水环境综合整治决策支持系统。郭磊等人建立水动力、水体及底泥污染物运移数值模型,采用有限体积和有限差分相结合的方法,对北大港水库的氯离子浓度进行动态模拟,从而揭示了北大港水库各种运行方式下流场及水质变化的规律。赵琰鑫等人采用有限控制体积法将一维河网水质模型和二维湖泊水质模型进行耦合联用,建立了适合于太湖流域的湖泊河网耦合水动力水质模型。

2 大东湖流域特征及水环境状况分析

2.1 大东湖流域的基本特征

2.1.1 自然地理

武汉市位于中国腹地的中心，湖北省的东部，长江与汉江交汇处，其地理位置为东经 $113^{\circ}41'$ ~ $115^{\circ}05'$ ，北纬 $29^{\circ}58'$ ~ $31^{\circ}22'$ ，东西最大横距 134km，南北最大纵距 155km。武汉市为“千湖之省”湖北的省会城市。长江和汉水把武汉市区分割为武昌、汉口、汉阳三部分，形成“三镇鼎立”的独特城市格局。武汉市现辖江岸、江汉、硚口、汉阳、武昌、青山、洪山 7 个中心城区和东西湖、汉南、蔡甸、江夏、黄陂、新洲 6 个远城区。

2.1.2 水文气象

大东湖流域地处北亚热带季风区，全年四季分明，日照充足，雨量充沛，冬冷干燥，夏热湿润。据武汉吴家山气象站统计，多年平均气温为 16.7°C ，最冷为 1 月，平均气温 3.0°C ；最热是 7 月，平均气温 29.0°C ；历年最高温度达 39.4°C （1951 年 8 月），最低温度达 -18.1°C （1977 年 1 月 30 日）；全年日照时数为 2079h，日照率为 4.7%；全年无霜期为 241d，最长 272d，最短 211d；全年主导风向为北风，平均风速 2.3m/s，最大风速 19.1m/s。

武汉市多年平均降水量 1262mm（考虑与长江水位系列长度保持一致，采用 1952—2002 年系列），最大年降水量 2056.9mm（1954 年），最小年降水量 726.7mm（1966 年）。降水多集中在 4—8 月，其间降水量占全年的 65.2%。相对于 3—4 月，武汉市 9—10 月降水量不大。6 月中旬至 7 月中旬是梅雨季节。梅雨期间雨量大，历时长，笼罩面积宽广，往往有内涝发生。梅雨期过后进入盛夏，受太平洋副热带高压控制，维持一段时间高温无雨天气，易产生伏旱和伏秋连旱，形成武汉市前涝后旱的一般规律。

武汉市多年平均蒸发量为 855.1mm，7 月和 8 月蒸发量最大，分别占全年蒸发量的 14.5%、15.8%，1 月和 2 月蒸发量最少。

大东湖流域多年平均风速为 2.3m/s，多年主导风向为 NNE，月平均风速及风向见表 2.1.1。

表 2.1.1 大东湖区域月平均风速和风向

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
平均风速 (m/s)	2.4	2.8	2.6	2.6	2.3	2.3	2.6	2.3	2.4	2.1	2.2	2.3	2.3
最多风向	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	SSE	SSW	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE

2.1.3 水系历史演变过程

大东湖水系历史上与长江相连。查阅相关资料，追溯到三国、唐宋、明朝、清朝，区

域内东湖、沙湖等湖泊一直与长江紧密联系在一起，后来因长江干堤的逐步兴修，通过建闸进行人为调度，江湖与长江的水体交换逐渐受阻。受淤积影响及社会经济的发展，随着20世纪60年代的围湖造田和90年代的城市建设，湖泊面积大为减少，进一步阻隔了湖泊与长江的联系。大东湖区域水系历史演变过程见图2.1.1。

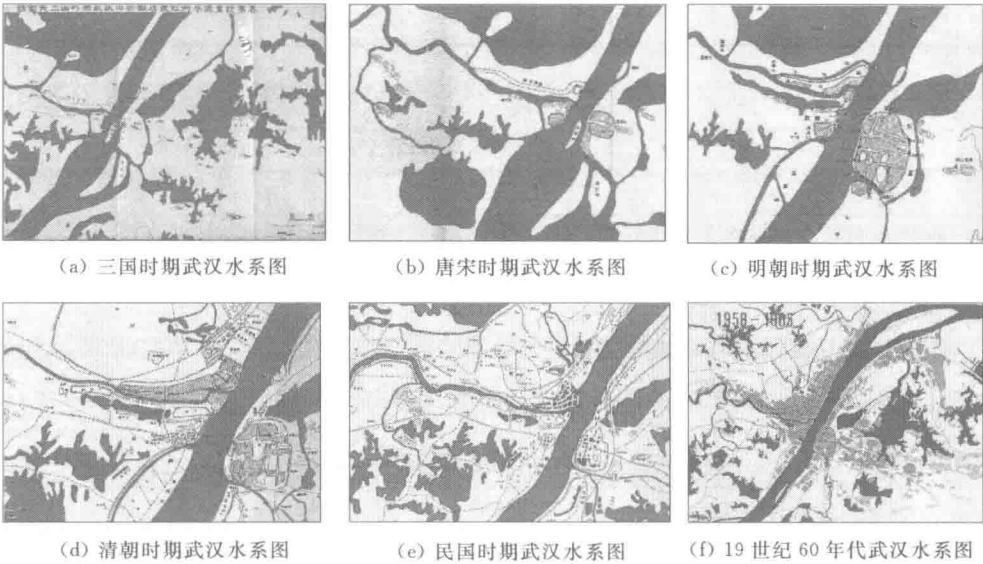


图 2.1.1 大东湖区域水系历史演变过程

2.1.4 大东湖水系

1. 湖泊

大东湖位于长江干流右岸，大东湖水系由东沙湖水系和北湖水系组成，其中东沙湖水系主要湖泊有东湖、沙湖、杨春湖；北湖水系主要湖泊有严西湖、严东湖、北湖，区间还有竹子湖、清潭湖等小型湖泊。由于交通、养殖等原因，东湖被分割为水果湖、汤菱湖、筲箕湖、郭郑湖、团湖、后湖、庙湖、喻家湖等子湖，沙湖被分割为内沙湖和外沙湖。

湖泊最高水位时水面面积 60.12km²，相应容积 13433 万 m³，正常水位时水面面积 53.15km²，相应容积 9166 万 m³，调蓄容积 4267 万 m³。湖泊特性见表 2.1.2。

表 2.1.2 大东湖水系湖泊特性表

水系	湖泊名称	汇水面积 /km ²	岸线长 /km	控制水位		正常水位 水面面积 /km ²	正常水位 相应容积 /万 m ³	调蓄容积 /万 m ³
				最高水位 /m	正常水位 /m			
东沙湖 水系	杨春湖	4	3.71	19.65	19.15	0.42	20.9	22.2
	东湖	128	138.25	19.65	19.15	30.70	5699.9	1558.3
	内、外沙湖	23.2	8.63	19.65	19.15	2.89	232.2	147.9