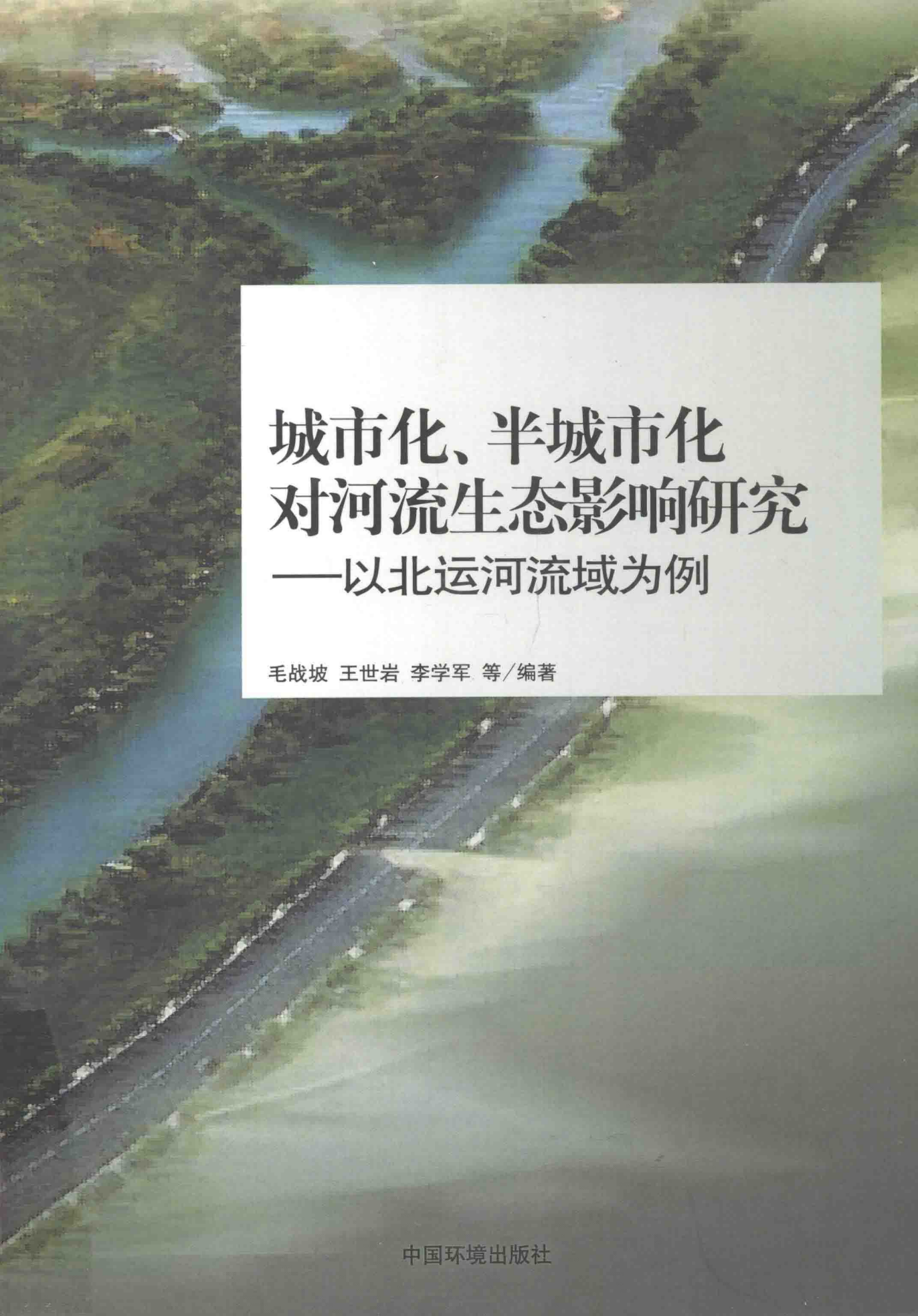




城市化、半城市化 对河流生态影响研究 ——以北运河流域为例

毛战坡 王世岩 李学军 等/编著

中国环境出版社

城市化、半城市化对河流生态影响研究

——以北运河流域为例

毛战坡 王世岩 李学军 等 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

城市化、半城市化对河流生态影响研究: 以北运河流域为例/毛战坡等编著. —北京: 中国环境出版社, 2013.1

ISBN 978-7-5111-1029-9

I. ①城… II. ①毛… III. ①城市化进程—影响—运河—生态环境—北京市 ②城市化进程—影响—运河—生态环境—天津市 IV. ①X522.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 112011 号

出 版 人 王新程
责任编辑 陈雪云
责任校对 扣志红
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112735 (环评与监察图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中献拓方科技发展有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2013 年 4 月第 1 版
印 次 2013 年 4 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 14.75
字 数 340 千字
定 价 52.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

河流是陆地生态系统和水生态系统间物质循环的主要通道，也是全球水循环的主要通道。流域河流系统是由一系列不同级别的河流形成的完整系统，河流物理参数的连续变化梯度形成系统的连贯结构和相应的功能，通过物质循环、能量传递等维持区域生态系统的健康。河流曾经是吸引人类聚集的源泉，依靠河流为人类解决饮用水、水陆交通运输等社会经济发展的关键问题。随着人口数量急剧增加，以及社会、经济等发展规模扩大，城市在河流边缘发展起来，城市的兴起和繁荣与河流繁衍有着鱼水相依的不解之缘。城市形成与发展中，河流作为重要的资源与环境载体，关系到城市生存，制约着城市发展，是影响城市风格和城市环境的重要因素。

随着社会、经济的不断发展，河流生态系统在人类活动和自然因素综合作用下，使得城市（半城市化）区域河流的污染负荷、栖息环境、水文情势等人为影响强度不断增加，导致河流水质污染严重、栖息地质量降低、水生态退化严重等典型的城市水环境问题，河流生态系统保护已经成为社会经济、环境可持续发展的主要制约因素，需要采取大量的工程措施和非工程措施以实现城市化区域河流生态系统的基本功能。大量研究表明，河流生态恢复是一个长期的生态适应性过程，需要全面了解河流生态系统在不同干扰下（包括生态修复措施）的生态响应过程，不断地调整生态修复措施以最大限度地接近生态系统自身的演替规律，最大概率地实现河流生态修复目标。

海河流域是我国水资源高度开发的区域，区域城市化、半城市化区域河流由于水资源不足、水质污染等，呈现出有河皆枯、有水皆污的特征，导致区域多数河流水生态严重退化，河流生态基本功能难以维持。北运河水系是海河流域重要的行洪排涝河道，穿越北京、天津和河北廊坊地区，其流域是北京、天津城市规划建设的重点区域，是我国北方社会、经济发展的重点区域之一，也是我国城市化、半城市化发展的典型区域之一。随着流域社会、经济的高速发展，北运河在水资源开发利用强度大、污染负荷增加、河道渠道化、闸坝

调控明显、流域土地利用发生明显变化等众多因素作用下,河流呈现补给多水源——天然径流、再生水、污水,水质恶化——水体缺氧、水华爆发等典型的城市化、半城市化河流水环境问题,水生态严重退化,难以适应区域京杭大运河的生态功能定位,严重制约区域社会、经济、环境的发展。

本书在国家重大水专项“北运河水系水量水质联合调度关键技术与示范研究课题”(2008ZX07209-002)、北京市科委重大项目“通州新城水系水质水量联合调度总体方案研究课题”和国家自然科学基金“氮磷生源要素在华北地区源头溪流系统中的滞留特征研究”(编号 51179206)的联合支持下,针对北运河水生态退化的主要驱动机制——城市化、半城市化,从流域水生态完整性的角度出发,通过对北运河流域的社会、经济、环境进行全面的调查和分析,结合北运河不同类型干扰下的河流水生态定点监测,研究城市化、半城市化进程加速条件下的北运河河流水生态演变特征,了解北运河水文情势、水环境、栖息地以及河流水生态结构和功能等,分析水生态物理环境和生物环境的时空分布特征,全面揭示区域城市化发展对河流水生态退化的驱动机制和作用过程,为恢复河流生态功能提供技术支撑。

本书由毛战坡、王世岩、刘畅通稿,第一章和第二章由毛战坡、王世岩、杨素珍、程东升、杜彦良、易伟雄编写;第三章由毛战坡、李学军、王世岩、杨素珍、吴佳鹏、杜彦良、易伟雄、邹晓雯编写;第四章由毛战坡、韩宇平、刘畅、杨素珍、赵少延、邹晓雯、程东升、吴佳鹏、杜彦良编写;第五章由王世岩、刘畅、杨素珍、毛战坡、邹晓雯、程东升、吴佳鹏、杜彦良编写;第六章由毛战坡、刘畅、杨素珍、王世岩、赵少延、程东升、吴佳鹏、杜彦良编写。

本书的研究成果属于探索性的,相当部分研究内容由于研究时间、研究资料等条件限制,需要实践的检验和更加深入的研究。所以,本书可能存在一些不当之处,敬请广大读者批评指正。

本书在完成过程中,得到中国水利水电科学研究院、北京水利科学研究所、天津水利科学研究院、河南师范大学、华北水利水电学院等单位的大力支持,在此表示衷心感谢。同时感谢中国环境科学出版社为本书的编辑、出版和发行所做的大量工作。

作者

2012年2月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 研究内容及技术路线	5
1.3 河流生态基本理论	6
1.4 城市化对河流生态影响研究进展	9
1.5 河流水生态评价研究进展	16
1.6 河流生态恢复进展	23
参考文献	30
第二章 北运河流域概况	36
2.1 流域范围	36
2.2 流域自然环境概况	37
2.3 流域社会、经济概况	41
2.4 流域水资源、水环境概况	46
2.5 小结	51
参考文献	52
第三章 北运河流域水生态现状调查及评价	53
3.1 水生态调查方案	53
3.2 水生态调查方法	55
3.3 水生态评价方法	60
3.4 水生态调查结果	61
3.5 水生态调查评价结果	82
3.6 小结	98
参考文献	99
第四章 北运河流域城市化对水生态影响机制研究	101
4.1 城市化、半城市化河流特征及评价	101
4.2 城市化、半城市化的社会经济对区域水环境影响	111
4.3 城市化、半城市化土地利用演变对水生态影响	119
4.4 城市化、半城市化对水资源影响	136

4.5 城市化、半城市化对干流河道栖息地环境影响	165
4.6 小结	183
参考文献	184
第五章 流域水生态演变态势	186
5.1 流域水资源态势	186
5.2 流域水环境态势	190
5.3 流域土地利用态势	203
5.4 流域典型区域水生态演变态势	205
5.5 流域水生态保护态势	208
参考文献	211
第六章 流域水生态保护建议及对策	212
6.1 河流生态基流	212
6.2 水污染控制	218
6.3 水质水量联合调度	220
6.4 河流生态效应评估	223
6.5 展望	226
参考文献	227

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

北运河发源于北京市昌平区燕山南麓，西界永定河，东临潮白河，先后流经北京市通州区、河北省廊坊市香河县和天津市武清区、北辰区和红桥区。通州区北关闸以上称温榆河，北关闸以下始称北运河，沿途纳通惠河、凉水河、凤港减河等平原河道，于屈家店与永定河交汇，至子北汇合口入海河。干流长 143 km，流域面积 6 214 km²，其中山区面积 952 km²，占流域面积的 16%，平原面积 5 214 km²，占流域面积的 84%。运潮减河、青龙湾减河为承泄北运河洪水的人工运河，其中运潮减河是连接北运河与潮白河的人工排水河道，河长 11 km，设计行洪流量 900 m³/s；青龙湾减河长 52 km，设计行洪流量 1 680 m³/s。北运河流域多年平均降雨量 643 mm，降雨主要集中在 6~9 月，约占全年的 84%；多年平均（1956—2000 年）径流量 4.81 亿 m³，其中山区年均径流量 1.29 亿 m³、平原 3.52 亿 m³。多年平均出境水量（含废污水）9.03 亿 m³，出境水量主要是城区涝水和废污水（海河水利委员会，2004；河北省水利水电第二勘测设计研究院，2009；北京市水务局，2009；北京市环保局，北京市水务局，2008；海河水利委员会，2006）。

为治理北运河流域洪涝灾害和开发利用水资源，国家对北运河实施了大规模开发治理，包括加高培厚堤防、疏通开挖减河、兴建水库水闸和为潮白河另辟入海通道，通过兴建十三陵、桃峪口两座中型水库和响潭、王家园、沙峪口等 8 座小型水库，修建北关、土门楼和筐儿港水利枢纽，开挖疏通运潮减河、青龙湾减河和筐儿港减河，有控制地向潮白新河和永定新河分泄洪水；对北运河河道进行了疏浚整治，大大提高了北运河防洪除涝能力；在沿线梯级建闸，蓄水灌溉，流域面貌发生了巨大变化（北京市水务局，2009；海河水利委员会，2006；北京市北运河管理处等，2003）。据统计，20 世纪 50 年代，北运河流域洪涝水受灾面积年均 10.7 万 hm²，60 年代降至 3.6 万 hm²。80 年代以后，随着上游用水量增加和工农业、生活废污水的大量排入，干旱、断流、生态环境恶化已成为北运河流域的主要问题。

北运河流域中游段温榆河作为北京市的主要排水河道，随着经济发展，流域内用水量和排水量逐渐增加，河道水体污染严重，水生态系统退化明显。温榆河流域内所有河道水体（包括干流和支流）水质全部为劣 V 类水体。北运河天津段水质控制断面为河北省廊坊地区的土门楼，2005 年入境水量 1.617 亿 m³，高锰酸盐指数年均浓度 5.8 mg/L，入境污染负荷量 937.9 t，氨氮年均浓度 13.2 mg/L，入境污染负荷量 2 134 t，其中，氨氮按地表水 III 类标准超标 12.2 倍。近年来实测资料表明，除汛期排除城区雨水时水质略好外，北运河

水质一直处于劣Ⅴ类。所以,水质问题是制约北运河流域生态环境改善和流域生态健康发展的重要问题。为适应京津冀地区经济社会发展的形势,开展北运河流域水污染控制和水质改善的系统研究十分必要。

1.1.2 北运河功能定位

根据《全国主体功能区划》,京津冀区域位于环渤海地区的中心,功能定位是:全国科技创新与技术研发基地,全国现代服务业、先进制造业、高新技术产业和战略性新兴产业基地,我国北方的经济中心;强化北京的首都功能和全国中心城市地位,着眼建设世界城市,发展首都经济,增强文化软实力,提升国际化程度和国际影响力;不断改善人居环境,建设宜居城市;提升天津的国际港口城市、生态城市和北方经济中心功能;增强廊坊、武清等京津周边地区承接京津主城区部分功能转移的能力;统筹区域水源保护和风沙源治理,加强入海河流小流域综合整治,推进防护林体系建设,构建永定河、潮白河等生态廊道组成的网状生态格局。北运河地处京津冀经济圈,流域内工农业发达,人口集中,平原区地势平坦,土壤肥沃,排灌条件好,是粮食、蔬菜及副食品的主要生产供应基地,也是城市重要的排水河道和风景观赏性河道,具有防洪排涝、输水、生态、旅游、文化传承等多种功能。

(1) 防洪排涝功能

北运河水系是海河流域重要的行洪排涝河道,穿越北京、天津和河北廊坊地区,其作为海河流域骨干行洪排涝河道之一,主要任务是:非汛期拦蓄河道基流为农业灌溉提供水源,并担负城市污水排放任务;汛期排放城区和郊区降雨形成的洪水。北运河是北京城区及周围城镇的主要排洪通道,担负着京城部分农田和北京城区 90% 的排水任务。北运河畅通直接关系着首都工、农业生产和人民生活的正常进行。

(2) 输水功能

北运河是北京市五大水系中唯一长年不断流的河流,是全市为数不多的有基流的河道之一,每年有大量的雨水、污水从北运河出境。从 20 世纪 60 年代起,北运河就承担从密云水库调水至天津市区的重要任务。1981 年,北京水资源紧缺,停止向天津供水。1983 年投入使用的引滦入津工程再次启用北运河部分河段向天津供水。北运河北京段干流上共建水闸 10 座,可蓄水 1 亿~1.2 亿 m^3 。京密引水渠通水,使北运河平原西北部地区得到灌溉,促进了地区农业发展。同时,随着北京区域社会、经济的不断发展,1989—1990 年北京市建成了“东水西调工程”。工程由三级泵站、输水管道与部分永定河引水渠组成,在官厅水库出现水危机或泄洪排沙时,可将京密引水渠水调入永定河引水渠,保证西郊工业区用水,实现京密引水渠和永定河引水渠的双向调度,即密云、官厅两大水系水量的联合调度。

(3) 生态功能

北运河水系作为北京外环水系环绕城市最长的河道,对北京市东部生态起着非常重要的作用。北京市高度重视流域内的生态保护工作,流域内山区面积较小,部分山区植被较好,后因遭人为破坏,水土流失严重,山区溪流及泉水干涸。20 世纪 80 年代后开展植树造林、封山育林和水土保持工作,有效遏制了水土流失。2002 年 6 月,北京市政府通过《温榆河绿色生态走廊规划》,将其向上、下游扩展,下游延伸至北运河。

北运河自然条件有利于利用区域的洪水资源进行生态修复。北运河流域湿地面积较大,现存湿地从沙河水库开始,有白各庄湖、郑各庄湖、羊各庄老河湾、蔺沟入口和北七家等大面积的人工湿地以及大黄堡自然湿地。大黄堡洼是北运河流域唯一蓄滞洪区,是海河流域运用最多的蓄滞洪区之一,也是海河流域重要湿地。因此,利用低洼地建造湿地、生态湖收集调蓄雨水,充分利用湿地、生态湖内的水生植物和其他生物资源对蓄积的雨水进行净化,同时也可产生良好的生态景观效果。近河处多沙壤土,土壤熟化程度高,土质好,比较肥沃,适宜农作物和植物生长,有利于恢复北运河两岸植被。

从2009年开始,北京进入污水处理和再生水利用的循环利用阶段,实现“一水多用”的水资源利用目标。“一水多用”就是新水主要满足生活用水需求,排放的污水经污水处理厂深度净化处理后,作为二次利用水源,用于工业、河湖环境、园林绿化和市政杂用等;河湖环境用水通过河道流入下游郊区水网,用于农业灌溉和湿地水生态建设,同时涵养地下水源。在北运河支流温榆河上建设引水工程,将温榆河水经过处理后引入潮白河,实现北运河潮白河跨流域调水。每年可从北运河向潮白河调水7 000万 m^3 ,不仅改善了潮白河的生态环境,而且有效回补了地下水。永定河生态环境用水主要是再生水,市区污水处理厂升级改造后,出水水质可以达到地表水Ⅳ类标准,每年可为永定河提供环境用水1.2亿 m^3 ,通过调水工程将清河的再生水、小红门和卢沟桥的再生水调到永定河,形成河流、湖泊湿地连通的健康河流生态系统。

(4) 航运功能

北运河是南北水系沟通的重要河流,曾为沟通京城对外航运、南粮北运及沟通南北文化、政治交流发挥了重要作用。北运河漕运始于隋唐,盛于金、元、明、清四代。近代以来,铁路、公路等交通运输发展迅速,加之潮白河苏庄闸被洪水冲毁,切断了北运河补水水源,河道断流,航运功能逐渐下降,逐步沦为北京市主要泄洪和排污河道。

(5) 古运河文化传承功能

北运河作为京杭大运河首段,承载着深厚的文化底蕴。北运河古有“御河”之称,自隋代大运河贯通南北以来,被誉为“铜帮铁底运粮河”。元明清时期,漕运发达,北运河沿岸经济文化繁荣,有着丰富的人文景观。北运河上的闸、坝等建筑形成水利文化,水上交通运输方式形成了“盐、漕、河、关”的京杭大运河水运文化。近年来,北京、天津结合河道整治工程,建造运河生态和文化公园,展现大运河自然风光和文化底蕴。北运河被誉为全国首条“水文化之河”。

通州区在《运河文化产业带发展规划》中,以运河源头为依托,充分发掘大运河的文化底蕴,体现大运河的文化价值,起到带动沿岸经济、社会、文化发展的作用。北运河流经的各县市,都在进行运河文化的发掘,既注重现存遗迹遗址的保护,又重视非物质文化遗产的传承,从而形成大运河文化体系。

(6) 休闲娱乐功能

北运河蜿蜒的河道,常年流淌的河水,两岸的树林及草地,是人们休闲娱乐的好场所。在运河流经的城市及其周边的地区,修建水上乐园,充分发挥休闲娱乐功能。已经建成或在建的有十三陵、东沙河、杨各庄、黄港、金盏、葛渠、灵感村水上乐园等。天津北辰区内北运河将御河园、滦水园、游乐园、北辰公园、屈家店水利枢纽及万源龙顺庄园等美景连接起来。

1.1.3 研究意义

北运河水系是海河流域重要的行洪排涝河道,穿越北京、天津和河北廊坊地区,是京杭大运河的一部分,历史上是连通京津冀社会、经济、文化发展的纽带,先后在漕运、防洪除涝、供水、景观娱乐等功能方面发挥了巨大作用。随着人口增加、科技进步和经济社会发展,北运河功能在不断发生变化。新中国成立后,随着上游地区水资源的开发利用,北运河来水量日益减少乃至断流,航运功能全部消失,加上工业废水和城镇生活污水的排入,河流生态环境不断恶化。由于各河段具有不同功能要求,天津市屈家店至子北汇合口河段,按行洪 $400\text{ m}^3/\text{s}$ 、城市景观河道进行了治理;北京市通州区北关闸以下至京冀边界进行了规划,其中北关闸以下约 13 km 按城市河道进行整治,在满足防洪排水要求的前提下,兼顾人们休闲、娱乐、生态、景观及文化教育等多种功能,实行河道整治与沿河开发相结合,挖掘大运河文化底蕴,部分恢复古运河风貌;郊区河道保持天然河流的特点。

总体上,北运河以安全下泄上游洪水、排除北京城区和农田涝水、下游农业灌溉,以及中下游的景观娱乐等为主要功能。

(1) 区域发展对河流水环境质量改善的迫切需求

在北京市五大水系中,属于北运河的温榆河是唯一发源于北京市境内且常年有水的河流。温榆河流域横跨《北京城市总体规划(2004—2020年)》提出的西部生态带和东部发展带,位于整个北京市的心脏地带。北京市高度重视和关注温榆河水环境治理,2002年6月市政府专题会议审议通过了《温榆河绿色生态走廊规划》,内容包括对全流域范围进行水系整治及污水治理。规划提出的建设目标是:①通过实施全流域综合治理,扩大水面和沿岸绿化,实现温榆河水清、流畅、岸绿、部分通航,满足城市排洪要求,创建优美的水生态环境;②改善沿河生态和景观,使沿河地区成为城市的旅游休闲和景观带,创造最佳的人居环境;③通过旧村改造和农业产业结构调整,促进农村地区环境改善和城市化进程,实现地区经济与社会的可持续发展。

现状水环境远远满足不了温榆河绿色生态廊道、资源基地、休闲娱乐、旅游景观和宜居地区等功能。唯有温榆河主体水体清洁和水系脉络畅通,才有温榆河活力盎然的生命系统和绿色生态廊道的生态价值,才有生物多样性的物种资源价值。因此,温榆河流域水环境质量改善和水体功能恢复是实现温榆河绿色生态走廊定位的基础和前提,是温榆河绿色生态走廊的核心内涵和主要内容。

(2) 流域水污染控制缺乏流域尺度的多维调控技术的支持

北运河流域的水污染是综合因素共同作用的结果,水环境问题是水资源、水污染综合作用的结果,为了实现流域水环境问题的根本解决,必须从流域尺度出发,研究各种污染形成机制,对诸方面的污染形成因素进行多维调控,包括水资源配置、水利工程的生态效应、雨洪资源利用、闸坝的水质调控等,而上述环节涉及不同区域,是水环境和水资源管理中的难点和重点问题。同时,研究涉及多种目标,包括环境目标(水质改善)、社会目标(景观功能)、生态目标(生态基流)等,需要在整体尺度考虑不同目标的需求,从整体上进行流域水环境改善和水资源利用的协调、统一。而实际过程中流域水污染控制与水资源水环境管理工作经常处于针对某一方面进行,难以从根本上提出流域尺度上系统的解决方案,尤其是流域水生态退化特征、河流基流保障方案等,亟须开展流域尺度上的多维

调控技术研究,为流域水环境改善提供技术平台。

因此,在国家重大水专项“北运河水系水量水质联合调度关键技术与示范研究课题”(2008ZX07209-002)的支持下,针对北运河水生态退化的主要驱动机制——城市化、半城市化,从流域水生态完整性的角度出发,通过对北运河流域的社会、经济、环境进行全面的调查和分析,结合北运河不同类型干扰下的河流水生态定点监测,研究城市化、半城市化进程加速条件下北运河河流水生态演变特征,了解北运河水文情势、水环境、栖息地以及河流水生态结构和功能等,分析水生态物理环境和生物环境的时空分布特征,全面揭示区域城市化发展对河流水生态退化的驱动机制和作用过程,为恢复河流生态功能提供技术支撑。

1.2 研究内容及技术路线

鉴于北运河水系结构复杂,闸坝众多,水质污染因素众多等特点,通过了解区域主要污染源、入河排污口、闸坝、堤防、水文站点等基础信息,针对城市化、半城市化河流生态特征、水文情势、河道形态、社会经济影响等因素,设置北运河河流水生态监测点,调查河流不同时期的水文情势、河流形态、河流栖息地、河流水生态等,识别城市化、半城市化对河流水生态的驱动机制,了解河流水生态退化特征,为河流水生态保护提供基础数据。

1.2.1 研究内容

(1) 河流水生态调查

根据不同类型河流、人为干扰(排污口、污水、闸坝、河道整治等)情况,结合河流水文情势,同步调查水质指标,水文情势,底质物理、化学指标,浮游植物、底栖动物、水生植物等,了解河流生态的栖息地环境特征,了解水生植物、浮游植物、底栖动物等主要水生态物种的时空分布格局,明晰河流水生态退化特征,初步识别主要影响因素。

(2) 河流水文情势与河流栖息地环境影响机制

基于同步的河流水生态、水环境、栖息地等调查资料,研究不同水文情势、不同干扰状态下的河流栖息地环境变化特征;研究不同水文情势下、不同补给源下的河流水生态变化特征,了解主要生态指标变化趋势,分析不同水生态物种的时间、空间变化特征,研究水文情势变化对主要物种、生态指标的影响程度,识别水生态敏感物种;结合不同水文过程对主要栖息地环境的影响,探讨水文情势变化对河流水生态的影响过程和主要作用机制,为分析城市化、半城市化对河流水生态影响提供基础。

(3) 城市化对河流水生态影响机制

基于城市化、半城市化河流内涵及主要功能指标,评价流域不同城市化特征下的河流生态特征;基于城市化、半城市化的主要驱动因素——土地利用和社会经济发展特征,分析上述因素对河流水文情势、水质、栖息地等水生态过程的影响特征;从河流水文情势、水质响应、栖息地等水生态关键过程揭示河流生态响应机制,初步形成城市化驱动力、城市化表征指标、河流生态响应的耦合过程,解释城市化、半城市化河流的生态演替规律,为河流生态保护提供依据。

1.2.2 研究技术路线

根据研究目标和主要内容，以河流生态水文过程变化为基础，河流水生态调查为依据，明晰城市化、半城市化河流概念及表征指标，评价流域河流水文情势、水质、栖息地等关键指标变化特征，分析流域土地利用、水资源开发、社会经济产业结构等对河流水生态退化的影响，识别河流水生态整体演变态势，提出相应的对策和建议。具体的研究技术路线见图 1-1。

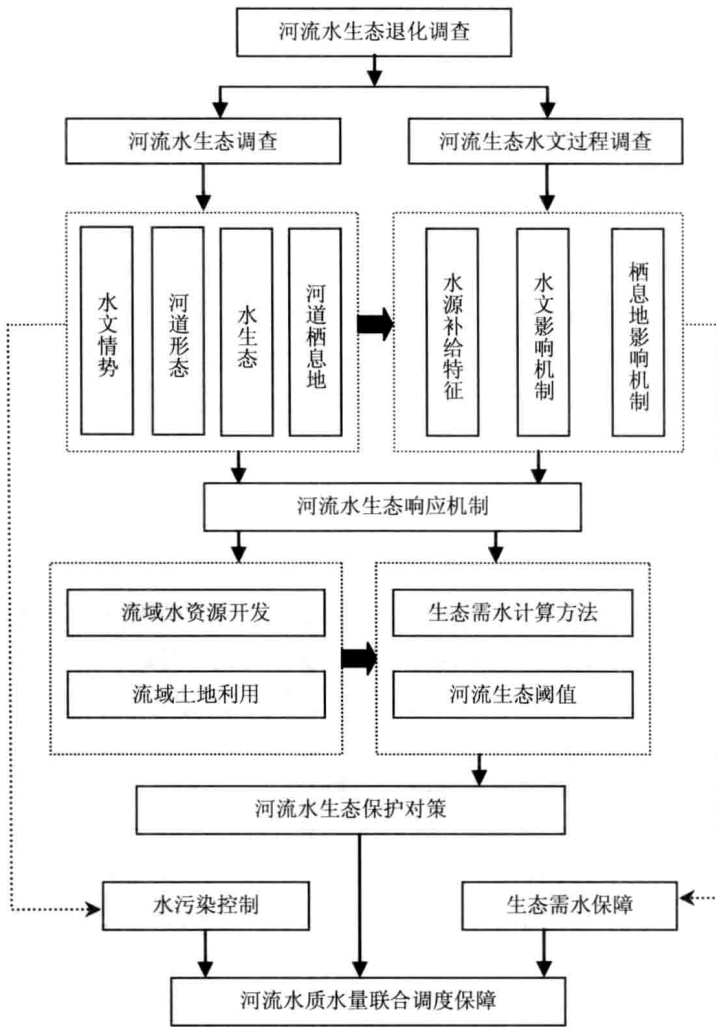


图 1-1 研究技术路线

1.3 河流生态基本理论

河流生态系统作为流域生态系统的主要组成部分，是流域径流、物质输送的主要通道，也是水生态系统的主要构成部分；河流形成复杂的景观格局，在外界的自然、人为等因素

的不断干扰下,河流景观格局不断演替,形成复杂的栖息地环境,为水生态物种的生存、繁殖、栖息等提供多样化的环境。河流生态系统的结构和功能,一直是淡水生态系统研究的重点和难点问题,主要体现在河流生态系统在外界干扰下呈现出明显的时空异质性(Ward等,2002;Thorp等,2008)。主要生境要素包括:水文情势、河流地貌、流态和水质。水文情势要素主要在景观和流域尺度上影响生态过程和系统结构与功能,地貌、流态和水质主要在河流廊道和河段等相对较小的尺度上发挥作用。河流水文情势变化可以影响地形、地貌、水质等,但地形、地貌等也可以通过河床形态、断面形态等影响水文情势,进而影响河流栖息环境(Gordon等,2004)。为全面揭示河流生态系统的主要响应机制和内部相互作用机制,国内外高度重视河流生态系统的基本理论相关研究,从20世纪50年代开始,就提出大量的概念及相关模型,有力地促进了河流生态学科的发展(Gordon等,2004)。

1.3.1 河流连续体概念

河流连续体概念(River Continuum Concept, RCC)是河流生态系统的重要概念之一(Vannote等,1980),对河流生态系统在纵向上的种群结构和功能特性进行描述,强调河流生态系统中生物种群结构和功能特性适应其非生物环境,指出从源头到河口的非生物环境具有连续梯度,强调非生物环境的重要性。在长期的演替过程中,河流生态系统物种(河底无脊椎动物和藻类)适应于其栖息的物理环境,尤其是河流水力特征(上游流速较快、中游流速减缓、下游流域降低),同时物种在生长不同阶段具有不同的水力特性需求。在此基础上提出的溪流水力学概念(Stream Hydraulics Concept, SHC)(Statzner, Higler, 1986)强调种群物种显著变化与溪流水力特性的转变具有联系,可以通过流速、水深、糙率和坡度等指标进行描述。在河流连续体概念基础上提出养分螺旋概念(Resource Spiraling Concept, RSC),描述养分在河流生态系统的纵向动态变化(Webster, Patten, 1979),养分循环利用程度可通过螺旋长度进行描述,螺旋长度越短,表明养分在河流生态系统中的利用效率越高。由于河流生态系统具有明显的景观异质性,不同斑块(缓冲区域、洪积平原、涟漪、浅滩等)镶嵌于景观中,影响河流生态过程,在此背景下,提出TEM(Telescoping Ecosystem Model)理论,将河流景观异质性纳入研究范围,强调景观格局—生态过程的相互作用(Fisher等,1998)。

1.3.2 连续中断概念

河流连续体认为河流生态系统在纵向是连续过程,而自然和人为因素(大坝、碎屑坝、水坝筑坝等)引起河流生态系统中断,导致上下游生态系统的物理、化学、生态特性等发生变化。连续中断概念(Serial Discontinuity Concept, SDC),强调大坝(干扰)对河流生态系统的影响(Ward, Stanford, 1983)。连续中断概念主要通过中断距离、干扰强度描述大坝(干扰)生态效应。中断距离是指在大坝干扰下,河流生态系统的物理(温度、流速、流量)、化学(水质、溶解氧)、生物参数在下游、上游发生转变的距离;干扰强度是指河流生态系统的物理、化学、生物参数在不同管理措施下的绝对改变。连续中断在河道景观异质性演替、水质空间变异等研究中得到大量应用。

1.3.3 洪水脉冲概念

洪水脉冲概念（Flood Pulse Concept, FPC）强调洪水对河道、洪泛平原生态系统的影响（Junk 等，1989），认为主河道与洪积平原养分交换主要依赖洪积平原滞留、洪水持续时间和冲刷率、温带区域洪积平原植物的生长周期等。鉴于洪积平原在河流生态系统中的重要生态功能，大量河流生态恢复工程对其日益重视，将其纳入恢复范围，促进了河流非生物和生物环境的恢复。河流生产力理论（Riverine Productivity Model, RPM）强调受控河流生态系统营养盐（碳源）主要依赖于上游输送，以及区域生物群落和缓冲区域的输入（Thorp, Delong, 1994）。

可以看出，上述理论和模型研究尺度、研究内容等均存在一定差别，概念模型尺度不同，从流域、景观、河流廊道到河段，其维数从顺河向的一维发展为侧向、垂向再加上时间变量四维。采用非生命变量有不同侧重点，包括水文学、水力学、河流地貌学和水质学四类。生态功能主要考虑包括鱼类在内的生物群落对各种非生命变量的适应性；在外界环境的驱动下营养物质的循环方式；生物生产量与栖息地质量的关系等。根据河流生态系统研究尺度，上述河流生态系统概念可分为三种类型：第一种类型强调河流生态系统纵向尺度，包括地带分布概念、河流连续体概念、河流水力概念、养分螺旋概念和连续中断概念，重点在于水文和地形、地质特征空间分布，以及河流生态系统的主要功能和结构；第二种类型强调河流生态系统的横向联系，包括洪水脉冲概念和河流生产力理论，重点在于缓冲区域、洪积平原与主河道的相互作用；第三种类型强调流域尺度上的纵向、横向和垂向的整体性，体现不同概念的相互重叠和补充（表 1-1）。

表 1-1 河流生态系统主要理论特点比较

概念	河流类型	尺度	非生物变量	系统功能特点	系统结构特点
地带分布概念	自然河流	纵向	流速、温度	鱼类和河底动物适应温度和流速	鱼类和底栖动物分布
河流连续体概念	自然河流、无洪积平原	纵向	河流尺寸、能量来源	有机物过程、P/R 比值	功能种群转变
河流水力概念	温带区域自然河流	纵向	流速、水深、坡度、地质、糙率	底栖动物对水力胁迫的适应性	底栖动物的分布区域
养分螺旋概念	自然河流	纵向	流速、物理滞留机理、养分限制	螺旋结构	生物群落
连续中断概念	洪积平原或蓄水河流	纵向	大坝位置	有机质过程、河流上下游的 P/R 改变	河流上下游功能种群的变化
洪水脉冲概念	具有大洪积平原的河流	横向	洪水持续时间、频率和水质、洪积平原面积和特性	生物生产力和养分循环	洪积平原的水生—陆地生态位的变化；栖息地和种群多样性
河流生产力理论	良好缓冲区域、人为控制河流	横向	缓冲区域类型、密度	初级生产力	功能种群改变
流域概念	流域	纵向、横向、垂向、时空	时空尺度	养分循环	流域尺度种群分布

1.4 城市化对河流生态影响研究进展

随着社会、经济的发展，人类过度利用河流生态系统以及流域土地利用类型、生产活动强度和方式等改变，使得河流生态系统的水文情势、河道形态、生态系统格局等发生明显变化，造成河流生态系统的结构和功能明显退化，严重影响河流生态系统的服务功能，包括供水、娱乐、景观等，已经成为某些区域环境问题的典型代表（Wagner 等，2008）。根据人类活动对河流生态系统的主要干扰或胁迫，可以划分为以下类型：水文情势变化、河流水质污染、河道形态变化、河流生态物种变化，同时需要注意的是上述因素是相互作用的，水文情势变化是河流生态系统退化的基础性因素。表 1-2 是城市化区域人为活动对河流生态系统的主要影响过程、响应指标等。

表 1-2 人为活动对河流生态系统的重要影响

特性	构成	退化表征
水质	温度、浊度、溶解氧、碱度、有机物和无机物、重金属；有毒物质	温度升高（降低）、溶解氧含量过饱和（降低）、化学物质污染等
栖息地结构	基质类型、水深、流速、物理栖息地空间结构特征等	泥沙沉降造成栖息地机制变化；繁殖、生长栖息地环境丧失；水塘、涟漪等丧失；河道断面形态变化等
水流模式	水量、水流时空	水量降低（断流）、洪水脉冲效应降低、河道流量恒定化等
能量来源	有机物数量、类型、粒径等；外界输入物种时空变化特征等	河岸带物质输入模式变化、降低系统物质输入量或过度物质输入
生物区系	物种构成、竞争、捕食、死亡等	物种种群变化、食物链变化、外来物种入侵、过度捕捞等

1.4.1 水文情势变化

河流生态系统是一个开放系统，在外界以及生态系统内部的相互作用下，导致系统产生复杂的生物、非生物结构和功能、过程，随着河流生态系统研究的深入化，提出大量关于河流生态系统的概念，包括生态连续、河流连续体、河流连续中断、洪水脉冲效应等。研究范围包括河流的纵向、横向、垂向等尺度，日益重视河流洪积平原、河岸带与河流的相互作用，将长期不同水文情势下形成的洪积平原（河岸带）纳入河流生态系统的研究范畴，强调河流生态系统的连续性和完整性，注重流域与河流生态系统的相互关系，以及强调湿地（河岸带）的生态功能对于维持河流结构和功能的作用（包括污染物净化、生物多样性、景观结构等）（National Research Council, 2002; Calow, Petts, 1994; Allan, Castillo, 2007）。同时，将河流的洪积平原、湿地、水陆交错带等纳入河流生态系统的研究范畴，已经成为淡水生态系统研究的热点问题，国际上开展大量的合作研究，包括国际水文计划第五阶段中的栖息地研究（IHP-V）、人与生物圈计划（UNESCO-MAB）、千年生态评估计划中的湿地评估（Millennium Ecosystem Assessment）、生物多样性计划（ICSU）等，有

力地促进了河流生态的基础研究。

河流生态系统的河流连续体、河流连续中断、河流洪水脉冲理论等均强调河流的纵向、横向的连续性 (Allan 等, 2004; Hauer, Lamberti, 2007), 包括水文连通、物质交换等, 维持河流正常的水文情势, 包括径流、时间、空间特征, 维持河流系统上下游、左右岸的物质、物种等有效交换, 从而促进和加强河流生态系统的抵抗力, 维持河流生态系统的健康。根据国内外对河流生态系统水文情势影响因素的研究, 大体可以划分为以下类型 (Gordon 等, 2004): 流域土地利用类型变化造成的水文情势变化; 河流水利工程造成的水文情势变化; 河流水资源过度开发利用造成的水文情势变化。由于上述因素作用机制不同, 也使得不同水文情势变化特征具有差异。大量研究表明, 河道内的流速、流量、水深、基质等均受控于河流水文情势, 上述因素在河流生态系统中具有明显的空间异质性, 在不同区域形成不同类型的栖息地环境, 为物种提供多样化的栖息地, 是维持河流生态系统物种多样性的主要因素。河流生态系统中部分物种的生存、繁殖等均与河流的水文情势、水力学条件等密切相关, 是河流不同生物群落在上中下游分布具有明显时间、空间差异的主要影响因素 (Allan, Castillo, 2007)。大量研究表明, 河流水生态系统平衡依赖于河道平均水流、大小流量频率等因素; 河流周期性的季节流量变化, 是部分鱼类产卵、迁徙的启发因素, 同时周期性洪水为河岸带生物栖息地和洪泛平原的沼泽地补充水源、提供营养物质, 促进河流与河岸带物质交流。

随着社会、经济的发展, 流域的土地利用类型不断改变, 尤其是流域城市化产生的不透水面积不断增加, 使得流域下垫面条件发生明显变化。欧美国家城市化对河流水文情势的影响时间长达 200 余年, 从 20 世纪 50 年代, 欧美国家就开始大量研究城市化对河流水文情势的影响, 包括城市化对河流供水、水质、洪水淹没、泥沙运移的影响、城市化水文模型研究等。Savini 和 Kammerer (Savini, Kammerer, 1961) 总结了城市化与水资源的相互作用过程, 强调河流需要提供足够的、安全的饮用水量, 以及城市化不能影响河流水质。通过分析城市化与河流监测径流, Harris 和 Rantz (Harris, Rantz, 1964) 发现城市化显著增加径流量, 城市化面积比例由 4% 增加到 19%, 而河流径流峰值增加比例高达 44%。Martens (Martens, 1966) 指出城市化增加使得洪水发生频率提高, 以及城市化区域显著增加河流悬浮物输送量。城市化对河流水文情势影响主要体现在以下方面: 增加径流量、增加径流峰值、增加大型洪水峰值、范围、频率, 降低河流生态基流等。根据 Schueler (Schueler, 2000) 研究, 城市化区域土壤在建造过程中发生明显变化, 土壤压实以及表层土壤取土等造成土壤下渗滤降低, 从而增加径流产生量; 农田、绿地、森林等下渗滤较大的土地利用面积降低, 而不透水或透水性能较差的土地利用类型面积增加, 使得径流产生量、汇流时间等显著增加、降低。流域发展对于城市河流的洪水频率也具有显著影响, Doll 等 (Doll 等, 2000) 通过比较 18 条农业、城市河流, 发现城市化河流的径流量、径流峰值均明显高于非城市化河流, Leopold (Leopold, 1994) 进一步发现城市化后河流 10 年一遇的径流峰值增加 1 倍左右。部分研究人员发现, 城市化河流的基流明显降低, Finkebine 等 (Finkebine 等, 2000) 发现城市化河流的流域不透水面积超过 40% 后, 河流基流整体下降, 同时基流流速与不透水面积比例呈现反比例关系。城市化对河流水文情势的影响见图 1-2。