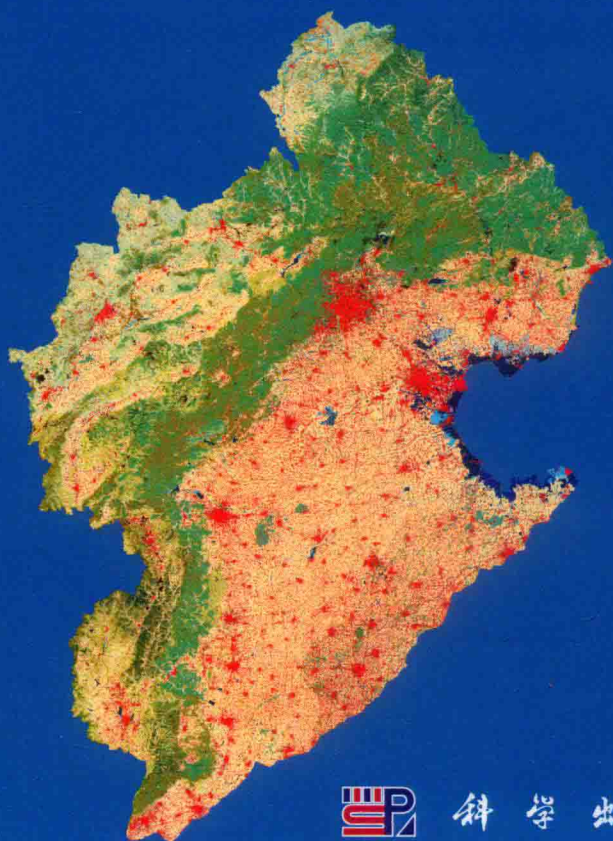


海河流域治理工程 生态效应遥感监测与评估

吴炳方 闫娜娜 等 编著



科学出版社

海河流域治理工程 生态效应遥感监测与评估

吴炳方 闫娜娜 等 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是围绕海河流域,利用近45年(1970~2015年)的土地覆被、治理工程、水文参量等遥感监测产品,针对流域治理工程的生态环境效应分析与评估等研究工作成果进行的系统总结。全书共分7章:第1章介绍了海河流域治理工程概况及本书编撰的目的;第2章介绍了近45年来流域土地覆被空间格局的变化特点,并着重对湿地、水面面积、不透水面及植被覆盖度等下垫面参量时空变化特点进行了总结;第3章介绍了流域降水、蒸散发、径流及地下水等水文参量的时空变化特征;第4章介绍了流域耗水管理理念在海河流域实践的重要研究结果;第5章介绍了流域特别是密云和官厅两库上游水土流失治理工程的风险评估;第6章介绍了流域生态系统对人类活动的响应特征分析成果;第7章介绍了流域活力评估的方法和措施。

本书可供全球变化、水资源、水利及水利工程、生态和资源环境、农业等领域专业人员,高等院校教师、研究生、本科生,以及政府相关决策部门的行政管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

海河流域治理工程生态效应遥感监测与评估 / 吴炳方等编著. —北京:科学出版社, 2019. 8

ISBN 978-7-03-061891-7

I. ①海… II. ①吴… III. ①海河—流域—区域生态环境—环境遥感—环境监测—研究②海河—流域—区域生态环境—评估—研究 IV. ①X321.221

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第150870号

责任编辑:刘浩旻 韩 鹏 姜德君 / 责任校对:张小霞

责任印制:肖 兴 / 封面设计:铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2019年8月第一次印刷 印张:12 3/4

字数:300 000

定价:168.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者名单

(按姓氏汉语拼音排序)

高文文	胡玉昆	贾绍凤	李晓松
卢善龙	沈彦俊	谭 深	田 菲
王 浩	吴炳方	许佳明	闫娜娜
杨艳敏	杨永辉	于名召	曾红伟
曾 源	张广录	张喜旺	赵 旦
朱 亮	朱伟伟		

序

新中国成立以来，我国推动实施了众多的重大水利工程和生态工程，这些工程规模大、投资大、效益大、影响大，为我国的经济社会发展奠定了良好的基础。然而，这些重大工程的实施永久性地改变了流域下垫面状况、水循环过程与生态景观格局，这些影响贯穿于重大工程建设与运行的始终，即使工程失效或停用，影响犹在。此外，重大工程的建设与运行会产生新的生态环境问题，有的会严重削弱工程的综合效益，甚至产生意想不到的负面影响。因此，对重大工程的建设与运行开展跟踪评估、中评估与后评估，对重大工程实施与运行过程中导致的生态环境效应进行有效的监测尤为迫切。此举有助于及时发现问题、总结经验、提出对策，将工程的负面效应降到最低、正面效益发挥到最大，这对国家管好、用好重大工程，实现重大工程综合效益的长期持续发挥都至关重要。

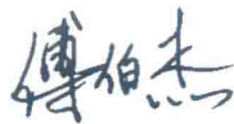
在此背景下，中国科学院在“十一五”期间启动了“重大工程生态环境效应遥感监测与评估”知识创新工程重大项目，并将20世纪60年代开始实施的海河治理工程纳入其中。该项目力图通过典型重大工程的生态环境效应研究、定量监测技术的开发，对影响重大工程生态环境效应的诸多要素进行定量化监测和综合评估，形成重大工程生态环境效应监测与评估技术体系，为国家和行业部门提供准确可靠的实时信息与辅助决策方案，为其他重大工程的监测评估开展先期研究。

海河是我国政治、文化、经济中心，也是全国重要的商品粮基地。海河曾饱受洪水肆虐之苦，新中国成立后党和国家高度重视海河流域的治理，1963年海河流域特大洪水发生后，毛主席挥笔写下“一定要根治海河”7个大字，拉开海河治理的大幕，谱写了一段可歌可泣的壮丽篇章。海河流域治理工程为根治洪涝灾害、扭转南粮北运、保障生产生活用水发挥了巨大作用，显著增强了流域经济发展的后劲。然而，治理工程的实施永久性地改变了海河流域生态系统格局，对生态环境产生了广泛和深远的影响，尤其是流域一度出现“有河皆干、有水皆污”的现象，加深了公众对重大治理工程的疑虑，社会各界对此颇为关注，期待科学的解答。

该书是“海河流域治理工程生态环境效应遥感监测与评估”课题成果的总结，是参与该项目的中国科学院遥感、生态、水资源等领域科研工作者集体智慧的结晶。该项目是我主持中国科学院资源环境科学与技术工作时组织实施的，对整个项目的实施过程进行了长期的跟踪，并对项目取得的丰硕成果感到欣慰。更难能可贵的是，即便在项目验收后，吴炳方博士及其团队仍然持之以恒，用新方法与新技术持续开展深入探索，总结凝练，进一步揭示了流域治理工程的生态效应、响应过程与机制，并创新性地提出了基于耗水的流域水资源综合管理方法，为流域水资源合理规划和生态环境保护提供了科学依据。

在该书付诸成稿，即将出版之际，谨向作者表示衷心的祝贺，希望该书的出版能进一步促进流域治理工程生态效应监测与评估研究，同时，为将来国内外流域重大治理工程的上马、建设与运行提供有益参考。

中国科学院院士



2019年7月9日

前 言

流域治理工程的实施永久性地改变了区域下垫面，会产生广泛和深远的生态环境效应，这些效应不但贯穿于治理工程的整个生命周期，还延及久远；治理工程运行过程中还会出现新的或意想不到的生态环境问题，有的甚至会危及工程的寿命或影响综合效益的发挥。

2007年启动的中国科学院知识创新工程重大项目课题“海河流域治理工程生态环境效应遥感监测与评估”（KZCX1-YW-08-03），也得到了世界银行全球环境基金（GEF）“海河流域水资源与水环境综合管理项目”的资助，本书是这两个项目部分研究成果的总结，与《流域遥感》构成姊妹篇，重在利用土地覆被、水文参量等的遥感数据产品开展流域治理工程的生态环境效应评估，包括地表蒸散发、地表温度、叶面积指数（LAI）、生物量、土地覆盖、灌溉耕地、种植结构、水利工程数量/状态/功能及其布局、河道及水面变化、地表河网结构、湿地分布、湿地结构、地表硬化率、城镇化速率，以及公路、铁路等基础设施分布等。

流域治理工程评估是一项非常复杂的工作，流域治理工程的生态环境效应本身具有的复杂性（宏观、多尺度、动态、滞后、直接、间接、短期、长期、显性、隐性、交叉复合等），使得监测评估具有很大难度。流域治理的直接效应是改变流域水系水资源分配格局，但间接效应可能会导致城镇化发展、水系统退化、湿地消失等；还将对土地利用结构或区域气候产生影响，带动区域城镇化发展或居住环境改变，构成了明显的交叉复合特点；地下水位恢复可减少地下漏斗和地面沉降，也可能导致土壤盐碱化、沼泽化和潜育化；对流域治理重大工程开展跟踪评估或后评估可以及时发现问题、总结经验、提出对策，将工程负面效应降到最低，且正面效益发挥到最大，这对实现流域治理综合效益的长期持续发挥至关重要，也可以从中吸取教训，为其他流域开发提供借鉴作用，避免相同的问题再次发生。

然而，流域治理工程的评估涉及的区域大、时间长，需要从深层面剖析生态环境效应的复杂性、累积性和异质性，因此数据支撑是一个大问题。为了实现流域治理工程生态环境效应定量监测、评估与预警，需要构建遥感与生态学相结合的评估方法体系。21世纪以来，随着对地观测数据的爆炸性增长和广泛应用，人类实现了对地球的多尺度、全方位的立体观测，海量多源遥感数据产品给资源环境监测带来了极大的便利，为流域治理工程评估提供了丰富的数据源，为资源环境问题的发现提供了新途径。

充分利用海量多源遥感数据产品，开展流域治理工程评估，主要包括五个方面的内容：一是下垫面和水文生态参量的时空格局变化。着重从土地覆被变化、河流变迁、湿地变化、不透水面变化及植被覆盖度等方面阐述不同时期水利治理工程、城市及城镇开发建设及生态建设工程的直接效应。二是从流域耗水角度重新认识流域水资源管理的现状及存在问题。从水循环要素，即蒸散发、降水、径流和地下水四方面分析水

文参量的时空格局变化过程,结合生态参量变化,分析流域现状水资源可消耗量,评估土地覆被格局对水资源可消耗量的影响,为水资源三条控制红线中的“总量控制”红线管理提供服务;通过对灌溉需水量的研究,分析以地下水源为主的地区作物种植结构对地下水利用的影响;通过对平原区水分生产率的分析,重新认识节水灌溉农业水分生产效益的现状及存在问题;从耗水角度,分析评价现状农业的节水潜力空间,发现目前节水存在的误区,认识到节水高效农业的发展面临“节水”与“粮食安全”权衡的艰巨任务。三是针对流域重要的生态建设工程——水土流失治理工程,通过土壤侵蚀量的时空动态变化特征分析,评价流域特别是密云和官厅两库上游地区水土流失治理工程的成效,并提出治理控制的对策与措施建议。四是进行人类活动特别是水利工程建设对水系统影响的定量评价,面对流域水资源严重短缺的危机提出适应性对策及建议,并且着重针对湿地的恢复提出建议。五是综合各个方面的评价结果评估流域的活力,把握南水北调工程和城镇化建设提供的机遇,从人水和谐角度,提出变化环境下恢复流域活力的空间结构调整措施,为海河流域快速冲出“U”字形谷底、实现流域可持续发展提供科学依据,并为南水北调工程的跟踪评估做好准备,为其他流域管理提供借鉴。

前面提到的两个项目早在2011年就已经验收,但时至今日,我们才组织编写本书。项目提出的评估方法需要以论文的形式陆续发表,持续了很长时间,这是编写工作延迟的原因之一,但更为关键的是流域治理工程的评估需要长时间序列数据的支撑,数据序列越长,越能揭示生态效应,为此我们花费了大量的时间准备数据、处理数据,形成了覆盖全流域的长时间序列数据,有些数据则延长到2015年。

未来随着云服务和机器学习的发展,我们无需将大量数据下载到本地进行处理,只需将分析处理后的最终结果提取或下载到本地分析使用,从而摆脱了运算、存储能力的限制,大大提高了监测和评估的效率,并可以采用更长的时间序列、更高的空间尺度对地表生态环境进行监测分析,到时候流域治理工程的评估就不需花费这么长的时间了。

本书从遥感与地面结合的角度开展流域治理工程的生态效应评估,这是一项新的尝试,但由于作者水平所限,书中存在疏漏在所难免,敬请读者和有关专家批评指正。

吴炳方
2019年1月

目 录

序

前言

第1章 概述	1
1.1 海河流域概况	1
1.2 海河流域综合治理工程与开发	2
1.3 流域治理工程的评估	7
1.4 本书主要内容	9
参考文献	10
第2章 海河流域土地覆被与生态参量遥感监测与格局分析	11
2.1 土地覆被遥感监测与格局分析	11
2.2 不透水面遥感监测与格局分析	17
2.3 湿地遥感监测与格局分析	23
2.4 地表水体遥感监测与格局分析	28
2.5 植被生态参量遥感监测与格局分析	31
参考文献	41
第3章 水文参量遥感监测与分析	43
3.1 蒸散发	43
3.2 降水	57
3.3 地下水	62
3.4 径流变化	68
参考文献	74
第4章 流域耗水管理	76
4.1 流域耗水管理理念与实践	76
4.2 流域人类活动可耗水量	77
4.3 流域灌溉特征与分析	84
4.4 水分生产率分析	93
4.5 农业节水潜力评估	98
参考文献	103
第5章 水土流失监测与风险评估	107
5.1 水土流失风险遥感监测与评估	107
5.2 密云水库上游应用研究	124
5.3 官厅水库上游水土流失遥感监测	138
参考文献	155

第6章 流域综合评估	159
6.1 自然与人类活动对流域水文系统影响的定量评价	159
6.2 水资源短缺的适应与对策	172
6.3 湿地恢复的适应与对策	178
参考文献	185
第7章 海河流域活力评估	187
7.1 流域生态活力评估方法	187
7.2 生态活力时空格局变化	188
7.3 流域活力恢复空间措施	191
7.4 恢复流域活力的空间调整措施	193
参考文献	194

第1章 概述

1.1 海河流域概况

海河水系是我国七大江河之一，拥有潮白河、永定河、大清河、子牙河、漳卫南运河五大支流，最后汇集天津，注入渤海。海河水系与邻近的滦河水系及徒骇马颊河水系共同组成了海河流域，面积 32.06 万 km²，总人口约 1.5 亿。海河流域包含天津、北京、河北、山西、山东、河南、内蒙古和辽宁 8 个省区的全部或部分地区。

海河流域属资源性缺水地区，多年平均降水量 535mm（1956~2000 年系列，户作亮，2011），是中国东部降水最少的地区；此外，由于全球气候变化的影响，1980~2000 年，海河流域平均年降水量与前 24 年相比较减少了 61mm，2000 年后，全流域降水继续偏少，对本来严重缺水的海河流域更是雪上加霜。2001~2007 年，海河流域年平均降水量仅为 478mm。多年平均水资源量 370 亿 m³（1956~2000 年系列，户作亮，2011），仅占全国的 1.3%，其中地表水资源量 216 亿 m³，地下水资源量 235 亿 m³（1980~2000 年系列，户作亮，2011）。人均水资源占有量不足 270m³，不到全国平均水平的 1/8（陈太文等，2013）；亩（1 亩≈666.7m²）均水资源量只有 213m³，只相当于全国平均水平的 12%（郑世泽和李秀丽，2009）；人均、亩均水资源量在全国所有流域中是最低的，但却以不足全国 1.3% 的水资源量，承担着 11% 的耕地面积、10% 的人口、14.1% 的 GDP 供水任务，与经济社会发展对水资源的需求极不相称，属于严重资源性缺水地区^①。

目前海河流域水资源开发利用远远超过国际公认的 40% 的合理开发界限。2007 年海河流域经济社会总用水量 403.03 亿 m³，其中农业、工业、生活用水量分别为 273.46 亿 m³、60.38 亿 m³、62.84 亿 m³，扣除当年引黄水量 43.85 亿 m³，当地水资源利用量达 359.18 亿 m³，远远超过了流域水资源的承载能力。以 1995~2007 年作为开发利用程度的评价时段，海河流域水资源开发利用率达到 108%，其中，徒骇马颊河、滦河及冀东沿海开发利用率为 83% 和 89%，海河南系、海河北系的开发利用率高达 117% 和 118%。

目前，流域内水资源供需矛盾十分尖锐，自然形成的水系统已被破坏而且严重退化，制约了区域的社会经济发展，使人居环境进一步恶化，威胁了人类的生命安全。主要表现为：①河道断流，自然水系统严重退化。用水大量增加，造成河道干涸断流、河道功能退化。一些河道虽然有水，但主要是由城市废水和灌溉退水组成，基本没有

^① 朱晓春，李木山，宋秋波，2009. 基于目标 ET 的海河流域节水和高效用水的对策探讨. 2008 年 GEF 海河流域水资源与水环境综合管理项目国际研讨会，35-40.

天然径流,“有河皆干,有水皆污”已成为海河流域的一个突出问题。②地下水位下降,资源量濒于枯竭。自1978年国家实施农村家庭联产承包责任制以来,流域机电井灌溉农田面积得到迅猛发展。截至2010年海河流域地下水累计超采量已超过900亿 m^3 ,浅层地下水超采区面积已达5.96万 km^2 ,形成比较大的浅层地下水漏斗11个(韩鹏,2015;贾绍凤等,2016)。地下水的严重超采、资源量枯竭加剧了水系统的紊乱。③湿地大面积萎缩,功能下降。以“华北明珠”白洋淀为例,自20世纪60年代以来出现7次干淀,干淀时间最长的一次是1984~1988年。自1992年以来,为维持白洋淀基本生态水位,已经12次从其他水库调水。海河流域存在的水资源严重不足、地下水大量超采、湿地退化等一系列生态环境问题,给生态系统带来不利影响。水资源不足也严重制约了当地社会经济的发展,同时干涸的河流丧失了自净能力,成为污水河,不仅恶化了人居环境,还威胁了人类的生命安全。

1.2 海河流域综合治理工程与开发

1.2.1 综合治理工程

自20世纪60年代开始,流域人类活动不断加强,水利工程设施与灌溉农业得到迅速发展,流域水循环已经打上深刻的人类活动的烙印。为提升粮食安全保障能力,增强海河流域的洪涝灾害抵御能力,我国在海河流域修建了大批水利工程设施,截至2014年,海河流域有26座大型水库、107座中型水库、1154座小型水库、346个拦河坝、59个橡胶坝与481个水闸,与1960年相比,大型水库增长24座,中型水库增长39座,小型水库增长399座,拦河坝与水闸分别增长11个与33个。水利工程设施的修建使海河流域河水的拦蓄能力已经达到极致,大幅度提升了流域抵御洪水与灌溉保障的能力。当前,海河流域注入渤海的径流量主要体现为超越水利工程设施拦蓄能力的洪水水量。根据工程的特点可将流域内工程建设划分为三个阶段:50~60年代中期、60年代中期至1980年和1980~2000年。

第一阶段(50~60年代中期),是以兴建山区水库为重点的初步开发治理期。在此期间相继建成了官厅、密云、岳城、岗南、黄壁庄等25座大型水库和一大批中型水库。水库调洪、蓄水、灌溉、供水,改变了流域内水系的自然状态,水文状况发生了较大的变化。

第二阶段(60年代中期至1980年),是以开辟平原人工减河为重点的平原河道治理期。1963年海河流域发生特大洪水灾害后,开展了“根治海河运动”,以扩大和新辟人工减河为重点进行大规模的平原河道治理。到1980年,海河流域平原已基本形成了人工化河道,海河水系河流改变了原来各河集中汇集海河的自然流势。中东部平原形成了以人工减河为主的河道体系,中西部平原天然河道因在两岸加筑了防洪堤防,也失去了大水泛滥、小水归槽的天然河道特性。这一阶段还开垦了大量的农田并积极发展灌溉农业,仅河北省境内在1963~1973年,灌溉面积增加了2700多万

亩,达到了4900多万亩,1973年为1963年的2.23倍,扭转了历史上“南粮北运”的局面。

第三阶段(1980~2000年),是以建设城市供水工程和地下水开发为重点的时期。为满足城市用水,建设了潘家口、大黑汀、桃林口、大浪淀等以城市供水为主的水库,兴建了引滦入津、引青济秦、引黄济冀等大中型引水工程,同时还修建了一批引水渠道,如京密引水渠和永定河引水渠等引水工程6000余处。与此同时,“家庭联产承包责任制”带来的包产到户、发放自留地等措施刺激了农民种地积极性,灌溉水量大大增加,使得平原地区地下水用水量、山区农民引水量大增。这个时期也是海河流域经济高速发展、城镇快速扩张的时期。海河流域GDP总量1985年约为1150亿元,城镇化率为28%,到2006年,海河流域的GDP总量达到2.8万亿元,增长至24倍多,城镇化率超过40%。在此阶段,随着生态环境保护的重视、可持续发展治水新思路的兴起,海河流域也相继开展了以水资源保护、生态恢复为目的的流域生态治理工程,如海河流域上游水土保持治理工程、农业节水工程及农业种植结构调整等具体举措,主要包括农业措施、生物措施及管理措施等。

30年间(1950~1980年),海河流域治理的投资总额达70多亿元。修建水库1915座,总库容268.48亿 m^3 ,控制了山区流域面积的83%,其中大型水库30座,库容219.5亿 m^3 ;中型水库110座,库容33.51亿 m^3 。初步整治滞洪洼淀32处,总滞洪能力191亿 m^3 。大中型水库总蓄水能力达到459亿 m^3 ,是地表水资源量的2倍。开挖、疏浚骨干河道50余条,其中新辟入海水道8条,总计排洪入海能力24680 m^3/s ,为1949年入海能力2420 m^3/s 的10倍左右。修建10万亩以上灌溉工程70处,机电排灌站20146处,装机容量143.82万kW,打机井200余万眼,修建装机规模大于1万kW的水电站15座,总容量为71万kW。

海河水系的五大河流基本上都有大型水库控制山区流域面积。例如,漳卫南运河支流上的岳城水库,子牙河支流滹沱河的黄壁庄水库和岗南水库,子牙河支流滏阳河上的朱庄水库和临城水库,大清河上的横山岭、西大洋和王快水库,永定河的官厅水库和潮白河的密云水库等。海河水系的五大河流的中下游也有相应的整治工程。子牙河加固、展宽了北大堤和南大堤,修建滏阳河中游洼淀滞洪工程,开挖滏阳新河,开辟直接入海全长144km的子牙新河,泄洪能力9000 m^3/s ;永定河、潮白河、北运河及蓟运河等尾间开挖了长65km的永定新河,设计泄洪能力1400 m^3/s ,沿途纳北京排污河、潮白新河及蓟运河洪水,海口最大泄量5763 m^3/s ,于北塘入海;卫运河修建了漳卫新河,自四女寺到海口全长217km,排洪能力为3000 m^3/s ;大清河修建了白洋淀滞洪工程,滞洪能力约9亿 m^3 ,加固河道堤防,疏浚河道,扩大中、下游河道行洪能力,开挖长70km的独流减河,通过北大港直接入海,行洪能力为3200 m^3/s 。

1.2.2 综合治理成效

海河流域经过几十年的治理,取得了显著成效。

1. 根治了洪涝灾害

治理工程实施后,海河流域山区大型水库控制了山区流域面积的83%;在各水系的下游都有了单独的人海通道,排洪能力比大规模治理前提高了4.34倍。截至2015年,历史上危害严重的洪涝灾害威胁已基本上得到解除。1996年海河流域发生的洪水达到了30年一遇,但流域安然度汛,没有造成大的危害,流域治理工程避免的粮食减产达180亿~200亿kg,防洪除涝经济效益约900亿元(1996年价格)。大规模治理后短短数天的洪水滞留时间与1963年的大洪水滞留天津市2个月造成的危害不可同日而语。经过治理,流域中部和东部排水出路基本打通,防涝骨干工程基本建成,排涝标准一般达3~5年一遇,有的达10年一遇及以上。易涝易碱面积从5400万亩左右减少到875万亩左右。

2. 扭转了“南粮北运”局面

“南粮北运”曾是我国经济格局的显著特征,海河流域综合治理工程与开发的实施,扭转了这一局面。通过水利工程的建设和灌溉农业的发展,海河流域形成了18处2万 hm^2 以上的大型渠灌灌区,流域耕地面积已经达到了1127亿 hm^2 ,占全国总量的11%,灌溉面积由1952年的1750万亩增加到2000年的1亿亩,相应的粮食产量由1395万吨增加到4576万吨,增加2.28倍,粮食总产量约占全国粮食总产量的10%,其中,主要粮食和经济作物产量占全国比重较高的有玉米(占20%)、小麦(占16%)、棉花(占32.8%)、花生(占12.8%)、芝麻(占10.97%),是全国粮食和经济作物的主产区和重要的商品粮基地。

3. 保障了生活与生产用水

流域治理工程通过一系列工程措施,在流域水资源总量下降的情况下增加水资源供给量,满足了流域内北京、天津等特大城市的用水需求。海河流域总用水量从1952年的91亿 m^3 、1970年的200亿 m^3 、1980年的397亿 m^3 增加到2000年的402亿 m^3 ,其中城镇生活和工业用水由1952年的8亿 m^3 、1970年的25亿 m^3 、1980年的55亿 m^3 增加到2000年的101亿 m^3 ,农村用水由1952年的83亿 m^3 、1970年的175亿 m^3 增加到1980年的342亿 m^3 ,后又逐渐降到2000年的301亿 m^3 ^①。

1.2.3 生态环境问题

目前,海河流域内水资源供需矛盾十分尖锐,自然形成的水系统已被破坏而严重退化,制约了区域的社会经济发展,恶化了人居环境,甚至威胁了人类的生命安全。面对海河流域日益严重的生态环境问题,2002年4月温家宝副总理做出重要批示:“采取综合措施遏制海河流域生态环境恶化已刻不容缓,必须抓紧规划和落实。有关地方

^① 海河水利委员会. 2005. 海河流域生态环境恢复水资源保障规划.

和部门的负责同志要充分认识这项工作的必要性和紧迫性”。

为此，水利部海河水利委员会制定了我国第一部流域生态与环境恢复水资源保障规划——《海河流域生态与环境恢复水资源保障规划》，于2005年7月19日在北京通过水利部审查。该规划的编制是海河水利委员会落实科学发展观、推进可持续发展水利、当好流域河流生态代言人的重要举措，为流域生态与环境修复提供了科学依据，体现了党和国家治理海河流域生态环境的决心。

恢复海河流域的生态环境，还流域以活力是必然的选择，但是如何恢复、采取何种策略却面临着诸多的问题。

1. 海河流域经济处于高速发展阶段

海河流域是我国重要的工业基地和高新技术产业基地，经济正处在高速发展的阶段。

自改革开放以来，天津滨海新区成为中国北方发展最快的地区之一。1986年邓小平首次提出开发建设滨海新区的想法，1994年天津市开始建设滨海新区，规划面积2270km²。2005年10月的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十一个五年规划的建议》将天津滨海新区正式纳入国家规划战略，2006年5月26日国务院发布《关于推进天津滨海新区开发开放有关问题的意见》，批准天津滨海新区为全国综合配套改革试验区。依托京津冀、服务环渤海、辐射“三北”、面向东北亚，努力建设成为我国北方对外开放的门户、高水平的现代制造业和研发转化基地、北方国际航运中心和国际物流中心，逐步成为经济繁荣、社会和谐、环境优美的宜居生态型新城区。这是中国继20世纪80年代开发深圳、90年代开发浦东之后，又一个区域开发的重大战略举措。

到2020年，海河流域GDP从2006年的2.8万亿元增长至7万亿元，城镇化率由43%增至66%，人口增至1.57亿（韩瑞光，2011）。经济发展对水土资源、生态环境的要求更高，同时给生态施加的压力也更大。例如，随着流域内工业化程度和农田施肥量的增加，工业污（废）水排放量增加、农田面源污染加剧，受污染河长由20世纪70年代末的28%增长到2000年的71.6%。20多年来，水污染已由局部发展到流域、由下游蔓延到上游、由城市扩展到农村、由地表延伸到地下，海河平原已呈现有水皆污的恶劣局面。水污染加剧了流域水资源短缺，使得水资源对经济发展的制约进一步凸显，海河流域水资源现状与其面临的高速经济发展的需求已极为失衡。

但经济的发展也给流域生态与活力的恢复提供了机会。一方面，经济发展到了一定水平后，才有能力通过流域综合管理来改善流域生态环境。另一方面，海河流域快速城镇化虽增加了流域的生态环境压力，但撤村并镇、人口集中，减少了对土地总量的占用，给流域生态恢复提供了空间，也为流域活力恢复创造了条件。同时，农村人口及居住地的减少，在山区有利于退耕还林、减轻人类活动对当地生态环境造成的压力；在平原区有利于提高农业集约经营水平，提高水资源利用率。

2. 水资源开发利用率高

海河流域属于资源性缺水比较严重的地区，流域多年平均水资源总量为372亿m³

(1956~1998年系列),流域人均占有水资源量仅 372m^3 ,不足全国平均水平的 $1/7$ 、世界平均水平的 $1/27$,远远低于国际公认的人均 1000m^3 的水资源紧缺标准(曹淑敏,2004)。1965年以来,流域基本常年处于干旱状态,水资源已没有大规模开发的潜力,1980~2000年流域平均水资源总开发利用率达98%,远远超过国际公认的40%的合理开发界限(王文生等,2010)。

海河流域地处半湿润地区,而其水资源开发利用率已相当于干旱地区的水平,这在全世界也是罕见的。如此高的水资源利用率必定与流域治理工程存在一定程度的因果关系。上蓄下排的治理方略改变了流域水资源的时空分布格局,“上蓄”使有限的水资源被拦截在水库及堤防之中,极大减少了河道径流量,“下排”使流域原本不多的降水资源也被迅速排入大海。

海河流域总体上属于缺水地区,流域内部地区之间的水量调剂余地和潜力已很小,而南水北调工程的启动将通过增加华北地区的水资源供给量改善和修复区域生态环境。但南水北调工程的主要供水对象是44个大中城市,解除城市的水资源短缺问题,调水后海河流域水资源利用率仍然高达80%以上。因此,单纯依靠南水北调工程外来调水来解决海河流域水资源短缺问题不太现实,还得从合理布置工程措施、调整农业种植结构、改善流域水源涵养能力、增加地表持水能力等流域内部的综合管理措施中恢复流域活力,实现流域的可持续发展。

3. 治理工程改变了流域自然属性、恢复困难

海河流域生态环境的恶化,除自然因素及社会、环境因素外,与长期的单一防洪治理不无关系。在设计标准以下的年份中,上游蓄得太多,减少了下游的来水量,流域内天然河道萎缩、沙化、废弃,天然湿地消失;为了争夺排水河道里的少量过境径流,沿途不断建闸蓄水,使原本畅通的河道像“竹节”一样,河床干湿交替,上下不畅,流域封闭。河流在多年干涸后,河床对水流的阻力增大,泄洪能力下降,很多河道也被开发利用,失去了其作为排洪通道的功能。作为流域内主要河流之一的永定河,其下游干涸的河道内就修建了近千亩的高尔夫球场。

海河流域1956~2000年年径流量的趋势分析显示径流减少趋势显著,线性倾向率是 $-2.8658\text{亿}\text{m}^3/\text{a}$ (吴大光等,2011)。张莉茹等(2017)对海河各典型流域天然径流水文序列的分析发现,转折年份大都集中在20世纪60年代末至70年代初,这与海河流域自60年代中后期以来进行大规模的水利建设有关。

大量的湿地在干涸后也被开发利用,形成了居民区或工业区,即使有了充足的水源,这些被开发占用的湿地也难以恢复。很多蓄滞洪区在上游来水逐年减少后,不同程度地被开发利用。海河流域有蓄滞洪区26处,总面积 9560.06km^2 ,30年来蓄滞洪区内人口已增至466.8万人,财富积累不断增大,蓄滞洪区成了防洪保护的对象,很难发挥防洪功能(刘玉忠等,2001)。

另外,大量的水利工程没有得到充分的利用,每年还需要投入大量的维护费用。以密云水库为例,建成以来从未蓄满过水,近年蓄水还不到其库容的 $1/4$ 。还有一些以防洪为目的的水库自建成后竟然从未蓄过水,修建的新河与减河也存在同样的问题,

有的从未投入使用过,一些蓄滞洪区甚至从来没有发挥蓄滞洪水的作用。这些没有利用的水利工程在一定程度上导致流域的片断化,降低了流域活力。

在国外,德国、法国、荷兰等国都普遍采取了“退田还河”和还河道以原貌的措施,如德国、荷兰在一些河道上舍直取弯,拆除堤防,恢复泛区自然蓄水状态,保持水生动物适宜的生存条件等,以创造良好的自然环境。在国内,洞庭湖流域在1998年大洪水后,采取了大面积的退田还湖、退垸还湖措施,以求洞庭湖生态环境的恢复。海河流域要想实现生态环境与流域活力恢复,也可以考虑类似的对策。目前已有流域规划中大都提出了生态恢复的目标,但对于能否恢复、恢复的时空分布并没有空间上定量的认识,这就需要充分发挥遥感与多学科的综合,从空间尺度来提出科学的决策依据。

恢复海河流域的生态环境,还流域以活力,需要充分利用南水北调工程和流域城镇化高速发展带来的机遇,从流域综合管理角度,提出一个综合的、全盘的、战略性的、流域尺度的解决方案,在促进经济社会发展的同时,尽可能地恢复流域活力。提出这样的方案需要建立在翔实和科学的信息基础之上,认真评估治理工程的生态环境效应,掌握流域水系统退化的过程及规律,评价流域水系统(主要包括湿地、河流等)的可恢复性及空间分布,分析在新的环境下治理工程的适应性,以及威胁流域活力的社会、经济、政治和自然方面的原因。

1.3 流域治理工程的评估

流域治理工程规模大、投资大、效益大、影响大,风险也大,是增强经济发展后劲的基础,是提升国家可持续发展能力和增强综合国力的重要举措,对促进我国经济社会的可持续发展和社会稳定具有非常重要的战略意义。如何让流域治理工程发挥最大的综合效益,面临着如何用好、管好这些重大工程的迫切需要;为此需要:①掌握和了解确切的工程成效,了解工程实施效果与规划目标是否存在差距;②发挥工程综合效益,从全局观点出发,突破部门分割,避免强调主体功能忽略其他功能,全面发挥重大工程的多元目标,实现综合效益;③通过监测数据与评估,及时发现存在的问题,提出减缓对策或调整建设与运行模式等。

流域治理工程大规模地改变了下垫面,不可避免地对生态环境产生影响,这种影响不仅贯穿于重大工程的整个生命周期,还延及久远,重大工程即使失效或停用,影响仍然存在。例如,三门峡工程,立项之初就遭到陕西省方面的坚决反对,但三门峡工程并没有因此停止。1960年,大坝基本竣工,并开始蓄水。1961年下半年,陕西省方面的担忧变成现实:15亿吨泥沙全部铺在了从潼关到三门峡的河道里,潼关的河道抬高4.4m,渭河成为悬河。关中平原的地下水无法排泄,田地出现盐碱化甚至沼泽化,粮食因此年年减产。1973年淤积延至临潼以上,距西安只有14km。1964年和1968~1979年进行了两次较大规模的改造,但情况并没根本改善。2003年,渭河流域发生了50多年来最为严重的洪灾,有1080万亩农作物受灾,225万亩农作物绝收,数十人死亡,515万人受灾,直接经济损失达23亿元。但是这次渭河洪峰仅相当于三五