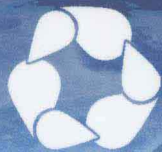


“十二五”国家重点图书出版规划项目



海河流域水循环演变机理与水资源高效利用丛书

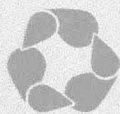
基于低碳发展模式的 水资源合理配置

严登华 秦天玲 王浩 翁白莎 宋新山 著



科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目



海河流域水循环演变机理与水资源高效利用丛书

基于低碳发展模式的 水资源合理配置

严登华 秦天玲 王浩 翁白莎 宋新山 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统梳理了碳水耦合模拟和水资源配置的国内外研究进展,以碳循环和“自然-人工”二元水循环的耦合机制为基础,初步提出了基于低碳发展模式的水资源合理配置的基本理论与方法;并选取华北平原的白洋淀流域作为典型案例分析,构建碳水耦合概念系统,绘制碳水耦合系统网络图;利用碳水耦合模型和野外原型观测技术,从水循环、碳循环与碳水耦合关系方面定量化识别流域碳水耦合机制;考虑不同社会经济发展模式,对未来碳排放与需水进行预测;构建不同水平年的水资源合理配置方案集,采用基于低碳发展模式的水资源合理配置模型对各方案进行模拟,对比模拟结果,提出推荐方案及其保障措施,在水资源配置理论与技术方面实现了创新。

本书可供水资源、环境、生态等相关专业科研、规划和管理人员使用,也可供大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于低碳发展模式的水资源合理配置 / 严登华等著. —北京:科学出版社, 2014. 1

(海河流域水循环演变机理与水资源高效利用丛书)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-038988-6

I. 基… II. 严… III. 水资源-资源配置-研究 IV. TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 254851 号

责任编辑:李 敏 张 震 吕彩霞 / 责任校对:桂伟利

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 1 月第一次印刷 印张: 11 插页: 2

字数: 500 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

总 序

流域水循环是水资源形成、演化的客观基础，也是水环境与生态系统演化的主导驱动因子。水资源问题不论其表现形式如何，都可以归结为流域水循环分项过程或其伴生过程演变导致的失衡问题；为解决水资源问题开展的各类水事活动，本质上均是针对流域“自然-社会”二元水循环分项或其伴生过程实施的基于目标导向的人工调控行为。现代环境下，受人类活动和气候变化的综合作用与影响，流域水循环朝着更加剧烈和复杂的方向演变，致使许多国家和地区面临着更加突出的水短缺、水污染和生态退化问题。揭示变化环境下的流域水循环演变机理并发现演变规律，寻找以水资源高效利用为核心的水循环多维均衡调控路径，是解决复杂水资源问题的科学基础，也是当前水文、水资源领域重大的前沿基础科学命题。

受人口规模、经济社会发展压力和水资源本底条件的影响，中国是世界上水循环演变最剧烈、水资源问题最突出的国家之一，其中又以海河流域最为严重和典型。海河流域人均径流性水资源居全国十大一级流域之末，流域内人口稠密、生产发达，经济社会需水模数居全国前列，流域水资源衰减问题十分突出，不同行业用水竞争激烈，环境容量与排污量矛盾尖锐，水资源短缺、水环境污染和水生态退化问题极其严重。为建立人类活动干扰下的流域水循环演化基础认知模式，揭示流域水循环及其伴生过程演变机理与规律，从而为流域治水和生态环境保护实践提供基础科技支撑，2006年科学技术部批准设立了国家重点基础研究发展计划（973计划）项目“海河流域水循环演变机理与水资源高效利用”（编号：2006CB403400）。项目下设8个课题，力图建立起人类活动密集缺水流域二元水循环演化的基础理论，认知流域水循环及其伴生的水化学、水生态过程演化的机理，构建流域水循环及其伴生过程的综合模型系统，揭示流域水资源、水生态与水环境演变的客观规律，继而在科学评价流域资源利用效率的基础上，提出城市和农业水资源高效利用与流域水循环整体调控的标准与模式，为强人类活动严重缺水流域的水循环演变认知与调控奠定科学基础，增强中国缺水地区水安全保障的基础科学支持能力。

通过5年的联合攻关，项目取得了6方面的主要成果：一是揭示了强人类活动影响下的流域水循环与水资源演变机理；二是辨析了与水循环伴生的流域水化学与生态过程演化

的原理和驱动机制；三是创新形成了流域“自然-社会”二元水循环及其伴生过程的综合模拟与预测技术；四是发现了变化环境下的海河流域水资源与生态环境演化规律；五是明晰了海河流域多尺度城市与农业高效用水的机理与路径；六是构建了海河流域水循环多维临界整体调控理论、阈值与模式。项目在2010年顺利通过科学技术部的验收，且在同批验收的资源环境领域973计划项目中位居前列。目前该项目的部分成果已获得了多项省部级科技进步一等奖。总体来看，在项目实施过程中和项目完成后的近一年时间内，许多成果已经在国家和地方重大治水实践中得到了很好的应用，为流域水资源管理与生态环境治理提供了基础支撑，所蕴藏的生态环境和经济社会效益开始逐步显露；同时项目的实施在促进中国水循环模拟与调控基础研究的发展以及提升中国水科学研究的国际地位等方面也发挥了重要的作用和积极的影响。

本项目部分研究成果已通过科技论文的形式进行了一定程度的传播，为将项目研究成果进行全面、系统和集中展示，项目专家组决定以各个课题为单元，将取得的主要成果集结成为丛书，陆续出版，以更好地实现研究成果和科学知识的社会共享，同时也期望能够得到来自各方的指正和交流。

最后特别要说的是，本项目从设立到实施，得到了科学技术部、水利部等有关部门以及众多不同领域专家的悉心关怀和大力支持，项目所取得的每一点进展、每一项成果与之都是密不可分的，借此机会向给予我们诸多帮助的部门和专家表达最诚挚的感谢。

是为序。

海河973计划项目首席科学家
流域水循环模拟与调控国家重点实验室主任
中国工程院院士



2011年10月10日

序

气候变化和人类活动对生态环境与社会经济系统的干扰日益加剧。在经济快速发展的背景下，我国仍未完全脱离高投入、高消耗、高排放的传统经济社会发展模式。在这种背景下，区域城镇化、工业化快速推进和居民消费结构变化对区域水资源和能源的需求量也不断增加。随着各国不断加深对资源节约和低碳发展模式战略地位的认识，区域碳减排和资源利用效率提高已经成为减缓气候变化对社会经济影响的关键任务，也是全球气候变化综合应对与国际科技合作的核心问题。

从整体上看，社会经济系统表现为碳“源”，生态环境系统表现为碳“汇”。随着社会经济的发展和人口增长，碳“源”呈现出持续、快速增强态势；与此同时，社会经济系统挤占生态环境系统的用地与用水，全球范围内的生态与环境系统整体呈现出退化趋势，碳“汇”呈现出减弱态势。各国主要从政策与行政干预、生活方式与行为方式改变、行业技术革新方面开展碳减排和水资源节约。如何将“碳减排”与“碳增汇”融合到水资源系统中，以实现多目标调控，成为水资源管理的一个新挑战，亟需创新水资源配置技术。

基于低碳发展模式的水资源合理配置在提高水资源利用效率的同时，能够降低区域碳的净排放总量，将成为我国水利行业减缓气候变化的关键支撑工具，满足国家和国际层面的战略发展要求。

水资源配置是水资源系统管理与综合调控的有力支撑技术，中国水利水电科学研究院在水资源配置方面具有坚实的研究基础，从“六五”水资源评价到现阶段的水量水质联合配置研究，积累了重要的研究成果和丰富的研究经验。结合已有研究基础，严登华教授等人开展了基于低碳发展模式的水资源合理配置方面的探索性研究，在理论、技术与应用实践方面创新特色明显。与传统的水资源配置模式相比，在区域碳水耦合机制识别的基础上，基于低碳发展模式的水资源合理配置将通过水资源配置实现碳循环中的“源-汇”一体化调节，逐渐过渡到“减源增汇”的理想模式。选取华北平原的白洋淀流域作为典型案例分析，构建碳水耦合系统网络图，从水循环、碳循环与碳水耦合关系方面识别流域碳水耦合机制，考虑不同经济社会发展模式，对未来碳排放与需水进行预测，并给出未来不同水平年的配置方案。

作者作为课题负责人参加了本人主持的“全球变化国家重大基础研究专项：气候变化对黄淮海地区水循环的影响机理和水资源安全评估”项目的研究工作，并主持第二课题的

研究。作者在系统总结课题研究成果和多年在水资源配置方面的研究成果的基础上，编著此书，是水资源配置方面的创新力作。该书的出版发行，有益于推动水文水资源学科的发展，还将推动气候变化与资源环境领域的研究创新，对我国综合应对气候变化将起到积极的作用。

是为序。

全球变化国家重大基础研究专项：“气候变化对黄淮海地区水循环的影响机理和水资源安全评估”首席科学家
中国工程院院士、南京水利科学研究院院长



2013年仲秋于北京

前 言

在气候变化背景下，人类和生态系统的水平衡及碳平衡已成为首要环境问题。气候变化深刻影响到水循环多过程及其多向反馈作用机制，进一步加剧水资源供需矛盾，不断加剧生态用水与生态用地被挤占的严峻形势，导致生态系统的碳捕获能力降低。另外，社会经济发展对化石燃料的需求量也呈现增加态势，导致碳排放量增加。碳排放量的增加和碳捕获量的减少致使碳的净排放量增加。虽然国内外的碳减排技术和碳增汇技术相继实施，逐渐趋向于“减源增汇”的态势，但还没达到碳的净排放量为负值的理想状态，这是由于“减源”与“增汇”措施相分离。以碳排放与社会经济用水、碳捕获与生态需水之间的关系为基础，基于低碳发展模式的水资源合理配置将碳的净排放过程与水资源系统联系起来，合理压缩社会经济系统用水，即实施节水措施来降低社会经济需水，通过水资源和碳的净排放联合配置抑制碳排放、提高生态系统供水的保障程度，进而增强碳的捕获能力，该技术将成为革新传统水资源开发利用的新方式和减缓及适应气候变化的有力工具。

本研究基于“自然-人工”水循环与碳循环辨识了区域碳水耦合作用机制，提出基于低碳发展模式的水资源合理配置内涵、总体任务、基本特征、目标与原则。在上述理论支撑下，构建碳水耦合概念系统，绘制碳水耦合系统网络图；利用碳水耦合模型和野外原型观测技术定量化识别碳水耦合机制，并预测未来需水量和碳排放量；构建不同水平年的水资源合理配置方案集，采用基于低碳发展模式的水资源合理配置模型对各方案进行模拟，对比模拟结果，提出推荐方案及其保障措施，并在白洋淀流域开展实例研究，在水资源配置理论与技术方面实现了创新。

在理论方面，拓展了水资源配置理论，与传统理论有所不同的是，基于低碳发展模式的水资源合理配置以区域碳水耦合机制为基础，即以“自然-人工”二元水循环与碳循环为主线，将碳循环耦合到水资源系统中，重点关注社会经济用水与碳排放、生态环境用水与碳捕获之间的关系，拓展了传统模式的研究范畴。在设置总体目标时，不仅考虑传统模式中的缺水量因素，还考虑了碳的净排放量，并将低碳性纳入配置原则中。基于低碳发展模式的水资源合理配置在考虑社会经济发展的基础上，重点结合供水模式、用水模式和工程供水过程等措施来抑制区域碳“源”、提高碳“汇”用水的保障程度。上述理论以区域碳水耦合作用机制识别技术与基于低碳发展模式的水资源合理配置技术为支撑，在这两个方面实现技术创新。

在白洋淀流域的应用研究不仅能够为水资源与生态环境保护规划提供直接支持，还能够为地下水水位恢复、南水北调和引黄工程的供水过程提供依据，具有较为显著的实践意义。

全书由严登华、王浩和宋新山组织编写；秦天玲和翁白莎负责主要内容编写工作和野外实验工作，并进行统稿校核。本书从基础研究到编写完成历时近五年，几经校稿，一直得到本书诸位参与人员的支持，在此深表谢忱。

基于低碳发展模式的水资源合理配置研究仍处于探索阶段，本书仅仅是该研究的初步成果，在理论、方法和实践研究方面还需要不断完善。本研究涉及现代水文学、水资源学、生态学、环境学、系统科学、复杂科学等多个学科，由于作者及其团队水平有限，难免存在疏漏与不当之处，恳请读者批评指正。

严登华

2013年6月于北京

目 录

总序

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 气候变化背景	1
1.2 人类社会发展模式与低碳发展模式的提出	2
1.3 全球碳源/汇演变与水资源系统之间的关系	3
1.4 研究的必要性与意义	3
1.5 关键科学问题	4

上篇 理论与技术

第2章 基于低碳发展模式的水资源合理配置理论基础	7
2.1 水利水电开发与碳平衡之间的关系	7
2.2 区域碳水耦合机制研究现状及发展趋势	9
2.2.1 研究现状	9
2.2.2 发展趋势	14
2.3 水资源合理配置研究现状及发展趋势	14
2.3.1 研究现状	14
2.3.2 发展趋势	17
2.4 区域碳水耦合机制的基本认知	17
2.4.1 区域碳水耦合的内涵	17
2.4.2 水循环	17
2.4.3 碳循环	18
2.4.4 水循环对碳循环的影响	18
2.4.5 碳循环对水循环的影响	19
2.5 基于低碳发展模式的水资源合理配置理论基础	19
2.5.1 内涵	19
2.5.2 总体任务	20
2.5.3 基本特征	20
2.5.4 配置目标	20
2.5.5 配置原则	21

2.6 本章小结	21
第3章 基于低碳发展模式的水资源合理配置技术框架及关键技术	22
3.1 基于低碳发展模式的水资源合理配置技术框架	22
3.2 区域碳水耦合机制识别的关键技术	23
3.2.1 区域碳水耦合系统概化	23
3.2.2 原型观测与遥感解译	25
3.2.3 碳水耦合模型构建	25
3.3 基于低碳发展模式的水资源合理配置关键技术	26
3.3.1 技术框架	26
3.3.2 关键技术	27
3.4 本章小结	28
第4章 区域碳水耦合模拟模型	29
4.1 模型功能需求分析及建模总体思路	29
4.1.1 模型功能需求分析	29
4.1.2 建模总体思路	30
4.2 区域碳水耦合模型物理概化	31
4.2.1 空间结构	31
4.2.2 时空尺度嵌套	33
4.3 要素过程模拟	34
4.3.1 能量流动	35
4.3.2 水循环	49
4.3.3 碳循环	51
4.4 模型校验	55
4.4.1 校验策略	55
4.4.2 校验准则	55
4.5 本章小结	56
第5章 基于低碳发展模式的水资源合理配置模型	57
5.1 模型功能需求分析与建模策略	57
5.1.1 模型功能需求分析	57
5.1.2 建模策略	58
5.2 模型结构	58
5.3 目标函数与约束条件	58
5.3.1 目标函数	58
5.3.2 约束条件	59
5.4 模型求解	61
5.5 本章小结	62
第6章 不同社会经济发展模式下的碳排放与需水预测	63

6.1	社会经济发展模式构建	63
6.2	碳排放预测方法与基础模型	63
6.2.1	Cobb-Douglas 动力学关系模型	64
6.2.2	能源强度模型	64
6.2.3	马尔科夫链模型	64
6.3	需水预测方法	65
6.3.1	人口发展与城镇化进程预测	65
6.3.2	区域社会经济发展指标预测	66
6.3.3	生产需水预测计算	66
6.3.4	生活需水预测计算	67
6.3.5	生态环境需水预测计算	68
6.4	本章小结	68

下篇 实践应用

第7章	白洋淀流域概况及主要生态环境问题	71
7.1	自然地理概况	71
7.1.1	地理位置	71
7.1.2	地质地貌	71
7.1.3	河流水系	72
7.1.4	气候与水文	74
7.1.5	土壤与植被	75
7.2	社会经济概况	77
7.2.1	行政分区与人口	77
7.2.2	经济发展与能源利用	77
7.2.3	水土资源开发利用	78
7.3	主要生态环境问题	81
7.3.1	水资源短缺, 地下水超采严重	81
7.3.2	生态用水与用地被挤占, 加剧湿地萎缩	81
7.3.3	面源污染加剧, 水质不断恶化	81
7.4	本章小结	82
第8章	白洋淀流域碳水耦合机制识别及演变规律	83
8.1	流域碳水耦合系统概化	83
8.2	模型数据来源与处理	85
8.2.1	气象参数	86
8.2.2	数字高程数据	87
8.2.3	水文地质参数	87
8.2.4	土地利用参数	89

8.2.5	土壤特征参数	89
8.2.6	植被特征参数	89
8.3	模型校验	92
8.3.1	水循环要素校验	92
8.3.2	碳循环要素校验	95
8.4	流域碳水耦合作用机制识别	97
8.4.1	碳循环要素演变规律	97
8.4.2	水循环要素演变规律	100
8.4.3	碳水耦合定量化关系	101
8.5	本章小结	106
第9章	不同经济发展模式下的白洋淀流域碳排放与需水预测	107
9.1	白洋淀流域碳排放预测与分析	107
9.1.1	数据来源	107
9.1.2	参数估计与模型修正	107
9.1.3	预测结果与分析	108
9.2	白洋淀流域需水预测与分析	110
9.2.1	社会经济发展指标	110
9.2.2	生产需水	111
9.2.3	生活需水	115
9.2.4	生态需水	116
9.2.5	流域总需水	117
9.3	本章小结	118
第10章	基于低碳发展模式的白洋淀流域水资源合理配置	119
10.1	配置方案集设置	119
10.1.1	方案集设置依据	119
10.1.2	不同水平年的配置方案	120
10.2	配置结果与分析	124
10.2.1	基准年	124
10.2.2	2015 水平年	130
10.2.3	2020 水平年	136
10.2.4	2030 水平年	141
10.3	方案比选	147
10.3.1	基准年	147
10.3.2	2015 水平年	147
10.3.3	2020 水平年	148
10.3.4	2030 水平年	148
10.4	推荐方案下的保障措施	149

10.5 本章小结	151
第 11 章 结论与展望	153
11.1 结论	153
11.2 展望	155
参考文献	157

第 1 章 | 绪 论

1.1 气候变化背景

气候变化是各国普遍关注的全球性问题。近年来，全球变暖、极端气候（包括暴雪、暴雨、洪水、干旱、冰雹、雷电、台风等）事件、海平面上升、冰川消融等对自然生态系统和人类社会的影响日益显现。政府间气候变化专业委员会（IPCC）的系列报告表明：在 20 世纪的 100 年中，全球地面空气温度平均上升了 0.4~0.8℃，而近 50 年的线性增暖速率几乎是近 100 年的两倍；根据不同的气候情景模拟估计未来 100 年中，全球平均温度将上升 1.4~5.8℃（Petts et al., 2006）；自 70 年代以来，在更大范围地区，尤其是在热带和副热带，干旱强度更强、持续时间更长（IPCC, 2007a）；1901~2005 年，亚洲北部和中部的降水量显著增加。

中国气候变化与全球气候变化的总趋势是一致的（气候变化国家评估报告编委会，2007）。近百年来，中国年平均气温升高了 $0.65 \pm 0.15^\circ\text{C}$ ，略高于全球平均增温幅度；年均降水量总体变化趋势不明显（王汉杰和刘健文，2008），但区域降水变化波动较大，如华北大部分地区每 10 年减少 20~40mm，而华南与西南地区每 10 年增加 20~60mm（IPCC, 2007a）。

目前气候变化成因方面的意见还不统一。气候变化可能是由于系统内部的自然节律，也可能来自外部强迫的干扰，也或许是二者共同造成的（钱伟宏，2009）。其中，前者来源于太阳辐射、地球公转及地球造山运动、海洋运动、南北两极变化等因素；后者或由于人工释放的二氧化碳、热量、水汽和污染物等改变大气成分和能量流动，或由于下垫面条件的变化，综合导致局地气候发生变化。上述变化与水资源开发利用和生态用地的时空分布有一定关系。

IPCC 气候变化报告研究表明，过去 50 年来的全球暖化现象，90% 的可能性是人类活动引起的（IPCC, 2007a）。21 世纪初以来，全球二氧化碳排放量增长速率为 2.5%，较 20 世纪 90 年代提高了近 4 倍（Heinzerling, 2010）。我国本世纪碳排放量也呈现增加态势：2007 年碳排放量较 2000 年增加了 97.3%（国家发展和改革委员会能源局，2009）。到 2009 年，中国二氧化碳排放量居世界第一，增长近 9%（Heinzerling, 2010）。

对于水循环与水资源来说，观测到的全球变暖过程会直接改变大尺度的区域水循环要素，如增加局地水汽通量、改变降水过程及极值天气事件的演变特征、影响土壤水和径流形成过程等；伴随人口增长、经济发展、土地利用格局变化和城市进程加快，气候变化对水循环的影响又不断加剧，进而影响水电开发利用、防汛抗旱、农业灌溉、城市集中供水

过程和水资源管理活动等水资源开发利用活动 (Bates et al., 2008)。但是, 上述开发与管
理活动并不能很好地应对气候变化, 严重影响社会经济的可持续发展。

气候变化会改变碳循环要素的演变。一方面, 从碳排放过程来看, 气候变化会对工
业、第三产业、人民居住和交通运输过程中的能源消耗过程产生影响, 进而导致人工碳排
放总量发生变化; 另一方面, 从碳汇来看, 气候变化导致全球变暖, 若考虑到降水的变化
过程, 不同地区的气候带将发生推移, 全球生态系统布局也会发生改变, 部分动植物将保
留在原气候区内, 而其他动植物将移动到新的适应区内, 从而致使全球生态系统的结构、
功能和生物量发生变化 (史新峰, 2010 年)。

气候变化和人类活动对自然系统的干扰程度不断增加, 人类社会和生态系统 (陆域和淡
水生态系统) 的水循环及碳平衡已成为首要环境问题 (Hannah et al., 2004; Newman et al.,
2006; IPCC, 2007b)。

1.2 人类社会发展模式与低碳发展模式的提出

随着经济的快速发展和人类对水/土资源的开发利用程度不断增加, 人类社会发
展模式已呈现外延式发展, 即以增加生态环境资本消耗换取经济的快速发展; 在认识到生态
环境的重要性之后, 逐渐向低碳发展模式转变, 即社会经济资本与生态环境资本呈平衡状
态; 为恢复并保护生态环境, 在低碳发展模式的基础上, 近年来又提出“绿色发展模式”
以应对气候变化 (图 1-1)。

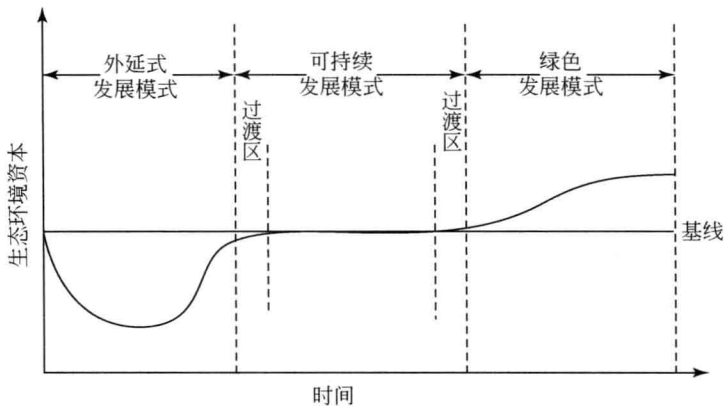


图 1-1 人类社会发​​展概念模式历程

绿色发展模式至今还没有一个统一的定义, 但本身暗含可持续发展的含义。我国著名
学者陈世清在《绿色经济丛书》中指出, 绿色经济发展模式是一种知识经济时代的新发
展模式, 包括和谐经济发展模式、幸福经济发展模式、稳定型经济发展模式、再生型经济
发展模式。

“低碳”是指在某一个时间达到较低的温室气体排放。而低碳发展模式由“低碳”这
一概念引申出来, 其实质是指社会经济体系的构建和发展能够实现“低碳”排放 (国家

发展和改革委员会能源研究所课题组，2009)。

低碳发展模式的目标符合绿色发展模式的要求，是其重要表现形式之一。基于低碳发展模式的水资源合理配置既是水利应对气候变化过程中破除生态环境和水资源瓶颈的主要手段之一，更是平衡二者与社会经济发展之间关系的关键工具。

1.3 全球碳源/汇演变与水资源系统之间的关系

宏观上看，经济社会系统表现为碳“源”，生态系统表现为碳“汇”。在传统发展模式下，社会经济发展对水/土资源的需求增加不断加剧生态用水与生态用地被挤占的严峻形势。另外，社会经济发展对化石燃料的需求量也呈现增加态势，综合导致碳“源”的排放量增加、碳“汇”的捕获量减小，致使碳的净排放量增加。虽然现阶段在向低碳发展模式转变，随着节水社会的发展和生态环境修复措施的开展，社会经济用水与生态环境用水之间的关系也在不断被调整，逐渐趋向于“减源增汇”的态势，但还没达到碳的净排放量为负值的理想状态（图1-2）。与2000年相比，我国2007年碳排放量和用水量分别增加了97.3%和5.8%（中华人民共和国水利部，1998-2008；国家发展和改革委员会能源局，2009）。

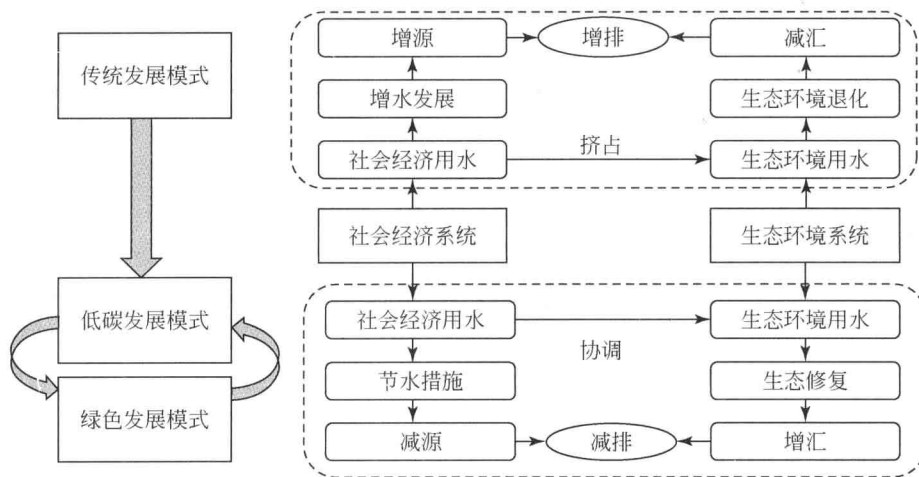


图 1-2 区域碳排放与水资源系统的关系

1.4 研究的必要性与意义

与水资源配置的传统模式相比，在区域碳水耦合机制识别的基础上，基于低碳发展模式的水资源合理配置将通过水资源配置实现碳循环中的“源-汇”一体化调节，逐渐过渡到“减源增汇”的理想模式。

基于低碳发展模式的水资源合理配置将拓展水资源配置理论，将碳循环与水资源系统