

海河平原 地下水演变与对策

张光辉 费宇红 刘克岩 等 著



科学出版社
www.sciencep.com

海河平原地下水 演变与对策

张光辉 费宇红 刘克岩 等著

科学出版社

内 容 简 介

本书论述了晚更新世以来海河平原地下水形成与循环演化过程,以及人类活动对地下水循环条件影响机理和资源环境效应。内容主要包括:论述海河平原地下水在该区社会经济发展中的作用和地位;界定了地下水系统划分与评价分区;从不同的时间尺度论述海河地下水系统与相邻圈层间水通量演化规律;探讨了地下水循环变化与地质环境、生态环境之间互动机理和未来发展趋势;阐述了海河平原地下水调蓄功能特征、潜力和优化模式以及调蓄战略与可持续利用条件。

本书可供从事干旱半干旱地区水资源及环境研究的科研、规划、管理等人员参考,并可供高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海河平原地下水演变与对策/张光辉,费宇红,刘克岩等著. —北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-012370-0

I. 海… II. ①张… ②费… ③刘… III. ①华北平原—地下水—水环境—研究—天津 ②华北平原—地下水保护—研究—天津

IV. ①TV213.4 ②X523

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 100085 号

责任编辑:朱海燕 刘卓澄 / 责任校对:柏连海

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

版权所有,违者必究,未经本社许可,数字图书馆不得使用

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004年2月第一次印刷 印张:21 3/4

印数:1—1 300 字数:492 000

定价:66.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《海河平原地下水演变与对策》著者名单

张光辉	费宇红	刘克岩
陈宗宇	聂振龙	王金哲
申建梅	李惠娣	赖勤波

序

海河平原是我国政治、文化和经济的要地,分布有首都北京、直辖市天津,以及石家庄、唐山、秦皇岛、廊坊、保定、邯郸、邢台、沧州、衡水、安阳、新乡、焦作、鹤壁、濮阳、德州、聊城等18座大中城市,面积 $12.9 \times 10^4 \text{ km}^2$,总人口已达8612万人,人口密度668人/ km^2 ,国内生产总值7454亿元,人均GDP是全国平均水平1.38倍,超过8600元,工业总产值10800亿元。海河平原还是我国三大粮食生产基地之一,耕地面积达到 $1.05 \times 10^8 \text{ hm}^2$,实际灌溉面积超过 $0.85 \times 10^8 \text{ hm}^2$,粮食总产量 $4073 \times 10^4 \text{ t}$ 。

由于人口密集、大中城市众多、社会经济高速发展,以致海河平原已经成为我国水资源最为紧缺、地下水开发利用程度最高的地区。2001年在该区总供水量中地下水占68%以上,区内有的省份地下水开采量占总供水量的80%以上。

近50年以来,山前大规模修建水库拦蓄山区补给平原区的地表水和平原区长期超采地下水,造成了河流干涸、泉群断流、地下水位持续下降和局部地区出现地面沉降等环境地质问题,加剧了该地区水资源紧张态势。未来地下水能否和如何可持续利用问题,不仅是一个社会科学问题,而且还是自然科学中地学的重要问题,它关系到海河平原社会经济可持续发展。

以张光辉博士为学科带头人的这个创新基础研究集体,通过对他们近几年以来完成的科研成果进行集成和升华,撰著了《海河平原地下水演变与对策》一书。本书系统地论述了晚更新世以来海河平原地下水形成与循环演化规律,以及近50年以来人类活动对地下水循环条件影响机理和资源环境效应,阐述了海河平原地下水系统及其分区科学理念、研究方法和水文地质特征,论证了海河平原地下水形成与演化的地质历史过程和模式,以及区域特征,详尽分析了建国之后,特别近20年以来海河平原地下水变化状况、规律和动因,提出了地下水系统变化与地质环境、生态环境之间互动机理和未来30年趋势,以及有关地下水更新、持续利用及其环境修复能力变化趋势的新成果,剖析了海河平原地下水调蓄功能特征、潜力和优化模式,以及调蓄战略与利用条件。

地下水是维持一个地区可持续发展的经济和战略资源,是综合国力的有机组成部分。中国北方地下水在总供水中占有重要位置,90%的城市以开采地下水为主,同时地下水利用引发的问题倍受政府、管理部门和科学界关注。水资源、环境、人口是一个多维动态变化的过程,影响社会可持续发展。近年来,随着人们对地下水自然属性和社会属性不断深入的认识,更加重视地下水循环演化与可持续利用之间协调机理研究,重视地下水的资源、环境、生态和调蓄功能之间关联性、整体性和最大效益利用模式研究,以指导预测未来区域地下水演化趋势,把握地下水资源变化、环境效应和调控机制,实现水资源-环境-生态与社会经济之间和谐发展。

本书应用国际先进的水循环理论和可持续发展科学理念为指导,以海河平原地下水系统为基础,瞄准区域地下水系统的资源、地质环境、生态环境和调蓄功能的可持续利用为目标,应用系统论与层次分析方法,利用时空序列演化理论和动态统计学原理,以动态、演化、数量与质量结合的观点,系统和深入地研究了地下水演化与可持续利用问题,在科

学理论、机理和评价方法方面都取得了开拓、创新性成果,富有独到见解和前沿探索性,有关学术成果已经被国际、国内重要核心学术期刊采用发表。该成果不仅对地下水相关科学发展具有重要指导意义,而且对水资源和环境其他边缘科学发展也具有促进作用,同时对解决中国北方地下水可持续利用所面临的问题也具有实际指导意义,对海河平原地下水可持续利用的调控和管理具有现实意义。

书中,在海河平原地下水古水文演化过程,确定地下水在演化历史进程中位置和属性的科学方法;地下水形成、演化与区域水循环变化之间水分通量关系,以及千年和百年尺度地下水形成与演化规律;当代水资源紧缺成因及其与地下水变化、水循环演化间关系;地下水承载能力、可持续利用性、地下水环境变化与人类活动间关系;如何确定地下水年补给强度、可开采能力,评价地下水的适宜时间尺度;合理规划和可持续利用水资源的新科学理念;预测未来区域地下水演化趋势,把握区域地下水可持续利用调控机理、方略、模式、关键技术和有效途径等方面,提出了全新理念的研究成果。面对 21 世纪国家社会经济发展的需求,面对知识经济和信息时代的要求,客观认识地下水演化的历史,系统研究人类活动影响下近 50 年来海河平原地下水资源变化状况,以及科学预测未来地下水可持续利用及其环境演变趋势,无疑具有重要的科学意义和学术价值。

自 1994 年以来,张光辉博士一直协助我从事大陆水循环演化科学研究,他作为项目负责人之一,组织完成了原地质矿产部前沿重点基础项目“区域地下水演化过程及其与相邻层圈之间相互作用研究”,独立主持完成了国家科技项目“太行山前平原南水北调地下调蓄潜力研究”,正在主持即将完成国土资源部专项重点基础研究项目“西北典型内流盆地水循环规律与地下水形成演化模式”。

值此《海河平原地下水演变与对策》一书出版之际,撰序祝贺,并推荐此书。

中国科学院院士 中国工程院院士

张宗祜

2003 年 3 月 26 日

前 言

地下水是水资源的重要组成部分,在国民经济建设中起着十分重要的作用。地下水资源是赋存于地下的宝贵自然资源,又是生态环境体系中的关键因素,同时地下水资源还是支撑国民经济和社会发展、保障国家安全的基础资源和战略性经济资源,是一个国家综合国力的有机组成部分。地下水资源在海河平原是主要供水水源,地下水开采量占总供水量的 60% 以上。合理开发利用地下水资源,已经成为该地区保障国民经济和社会发展需要的重要战略措施。

海河地区水资源已经十分紧缺,供需矛盾愈来愈突出。该地区人口已经达到 1.22 亿,占全国的 10.0%,平原平均人口密度 668 人/km²;耕地占全国的 11.3%,GDP 占全国的 11.6%,而水资源仅占全国的 1.3%,人均水资源占有量 305m³,为全国人均的 14.2%,为世界人均的 3.7%;亩均水资源量 225m³,为全国的 12.4%。根据 2001 年完成的《海河流域水资源规划》表明,仅海河平原多年平均缺水量就达 $75 \times 10^8 \text{m}^3$,2010 和 2030 年缺水量将分别达到 $137 \times 10^8 \text{m}^3$ 和 $215 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

在过去的 50 多年历史中,地下水开采量已经从 20 世纪 50 年代的少于 $10 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$,发展至每年开采 270 多亿立方米,占该区总供水量的 68.3% (2001 年),累计超采地下水 1000 多亿立方米。由于缺水,不仅制约了社会经济发展,还造成平原河道与洼淀干涸、湿地萎缩、水环境污染严重和地下水严重超采,部分地区出现了地面沉降、地裂和地陷现象。在平原区,由于长期大规模地开采地下水,已经形成了 50 000 多平方公里、由 20 多个常年性漏斗组成的复合漏斗群,深、浅层地下水超采面积合计达到 100 230 多平方公里,浅层地下水第 1 含水层组疏干面积已达 10 710 多平方公里,制约了该地区社会经济的可持续发展。由此,该地区地下水资源能否可持续利用,关系到这一地区社会经济的可持续发展问题,即使将来实现南水北调,也离不开地下水的调节作用。

特别是近 20 年来,海河平原地下水循环条件因人类活动影响而发生了显著变化,破坏了自然条件下区域水循环演化规律,改变了区域地下水资源补给能力,致使海河平原地下水资源的数量、质量及其时空分布规律发生了显著变化。然而,对这种变化的系统认识在相当程度上仍局限在“七五”期间评价的水平上。面对 21 世纪国家社会经济发展的需求,面对知识经济和信息时代的要求,面对科学管水而建立数字水资源的目标,客观地认识地下水演化的历史,系统研究人类活动影响下近 50 年以来海河平原地下水资源变化状况,以及科学预测未来 30~50 年地下水可持续利用及其环境演变趋势,将对海河平原社会经济可持续发展产生重大促进作用。

海河平原经济飞速发展,北京的高新技术产业与第三产业、天津市的轻化工与机械制造业、河北省的钢铁与农业,在我国国民经济高速发展中发挥着重要作用。按照中央有关部门的规划,研究区的经济和社会发展速度将高于全国平均水平。规划中的京津唐和京津保大北京经济区将逐步实施,环渤海经济区正在形成,南水北调工程即将实施,这些都将在实现我国经济发展第三步战略目标的进程中起到重要作用。同时,人民生活水平将进一步提高,人们对生存环境的要求和对水资源的需求也将随之提高。由此,对地下水资

源和水环境带来了更大的压力。

《海河平原地下水演变与对策》一书,是基于由张光辉博士主持完成的国家科学技术部公益性项目“太行山前平原南水北调地下调蓄潜力研究”(编号 2000163)、水利部水资源规划试点项目中专题“海河流域地下水资源现状评价及典型区环境地质效应分析”(编号专题之二)和国土资源部百名跨世纪科技人才培养计划项目“全新世以来华北平原区域地下水演化过程”(编号 98005)科研成果,以及近 5 年以来主笔发表的相关学术论文,自 1996 年 7 月至 2002 年 12 月历时 6 年又 6 个月时间通过综合整理、充实而完成。

本书从地学的视野,以区域水循环理论为指导,以海河平原地下水系统为基础,瞄准区域地下水系统的资源、地质环境、生态环境和调蓄功能的可持续利用为目标,应用系统论与层次分析方法,利用时空序列演化理论和动态统计学原理,以动态、演化、数量与质量结合的观点,从万年以来不同尺度时空上,系统地阐述了海河平原地下水系统演化规律及其未来变化趋势,展示了数字化地下水系统动态监测与信息处理的程控构想。

本书从近年来人们反思热点问题切入,从海河平原地下水资源开发利用现状与 12 000 年以来地下水环境演化的历史回顾,深入探讨了:①水资源紧缺是天灾或人祸,地下水资源量变化与区域水循环演化之间是何种关系?②地下水资源承载能力如何,能可持续利用多久,地下水环境劣变现状与人类活动之间是什么关系?③如何确定地下水年补给强度、可开采能力,以及如何把握评价多年平均地下水资源量的适宜时间尺度?

在此基础上,重点研究了:①12 000 年以来海河平原古水文演化过程,目标是寻找到确定现今海河区域地下水在演化历史进程中位置和属性的科学方法;②地下水形成、演化与区域水循环周期性变化之间的水分通量关系,揭示千年、百年尺度的区域地下水形成、演化规律,为科学、合理地规划和可持续利用水资源而提供科学依据;③未来区域地下水演化趋势,探索应用水循环演化周期规律把握区域地下水可持续利用前景和有效途径。

本书以科学论证、阐述和成果展示的方法,始于研究背景,展论地下水演化过去的地质历史过程和近 50 年巨变现状,客观预估未来 30~50 年变化态势,归宿如何评价地下水系统涵养和修复能力,最后定位在海河平原地下水可持续利用战略和优化调蓄模式,以及地下水系统数字化、智能化的管理和监控构想体系方面。书中突出了以下论点:①突出地下水更新能力演化是区域地下水循环条件变化问题,进而带动水资源、与地下水有关的生态环境和地质环境、社会经济布局和产业结构,以及社会文化观念的系统之间相互作用和相互促进;②强调地下水循环参与大气圈、水圈、生物圈、岩石圈运动,与人类行为密切相关,地下水不仅是一种资源,还是生态系统和地质环境的重要组成部分,具有资源、生态、环境和调蓄多重属性功能;③地下水系统多重属性功能彼此之间互相作用,互相制约,动因是区域地下水更新能力和水循环演化;④地下水可持续利用,需要深入认识和量化描述在自然变化和人类活动影响下地下水系统属性功能与区域地下水更新能力和水循环演化之间互动机理,与地质历史时期古气候和古地理环境相关联,充分利用地下调蓄功能,最大限度地发挥地下水系统的资源、环境、生态属性功能作用,才能提高区域地下水可持续利用能力和战略资源安全保障能力。

在理论上,采用系统论与层次分析方法作为研究工作的基础工具,将研究区的大气水、地表水、包气带水和地下水及其所处环境作为有机的水文系统;在空间垂向上,将水文

系统划分为大气水、地表水、包气带水、地下水四个一级子系统;在空间水平向上,按水文单元划分若干水文演化子区;在时间上,将12 000年以来区域水循环演化过程视为统一的研究期,按其早、中、晚划分三个研究子期,对于不同子期采用不同的研究时间尺度。其中,早全新世及其以前,以千年研究尺度为主;中全新世,以千年和百年两种研究尺度为基础;晚全新世,以100年、50年、20年、10年、5年研究尺度为核心。在研究过程中,水循环理论和系统之间的质量与能量交换守恒理论贯穿始终,突出区域水循环演化过程中干湿、冷暖不同时段水分通量变化规律的研究。

在解决不同时间尺度或空间尺度之间衔接问题或规律对比、判别过程中,关注了不同层次系统之间的自相似性,认识到区域水循环演化,总是处于非平衡状态(演化过程)中,水循环系统演化经历了较漫长的渐变过程。地下水系统演化既非完全无序,又非完全有序。水循环系统演化的周期性和自相似性,为我们从低层次、小尺度现象中的某些特征和规律,来认识高层次、大尺度地下水系统演化规律提供了基石。

在近50年以来海河平原地下水资源变化研究中,突出了区域水循环演化周期性演变规律的理念,以1998年作为基准年和以“七五”期间国家重点科技攻关项目第57项“华北地区地下水资源评价”的1956~1984年系列成果作为背景,1985~1998年各分区地下水资源动态资料作为素材,同时,参考了1999~2001年海河流域水资源公报和1995~2000年该区环境地质监测报告有关成果,以及1998年以来作者作为项目首席科学家组织申报“973”国家重点基础研究项目论证报告《中国大陆水循环系统演化及其资源、环境效应》、《大陆水循环系统活动规律、环境效应及水资源潜力评价》、《干旱地区水循环及水资源演化规律研究》、《华北地区水循环演变趋势与水资源调控模式》、《中国北方地下水循环演化规律与可持续利用调控机理》等成果中的研究思路,研究了近20年来人类活动对地下水资源形成条件的影响现状,开展了下述工作:①核算海河平原及各水资源分区的地下水补给资源、天然资源、开采资源、实际开采量和超采量现状;②阐明了海河平原地下水可持续利用性和环境地质问题,以及各分区地下水开采程度与发展趋势;③评估了地下水超采程度、危害性及发展趋势;④预警性预测了在维持现状开采和补给条件下地下水资源可持续利用性及其恢复时限性;⑤开拓性地研究了海河流域平原区地下水储量资源消耗情况,对海河流域典型平原区地下水储量及其消耗现状进行了匡算,提出了科学估算结果,被流域规划部门确认和应用。

据推算,12 000年以来海河平原区域地下水百年尺度多年平均年净补给系数介于0.21~0.27。在距今5000~4000年期间和距今8000~5600年期间,区内区域地下水获取的净补给最为稳定,变化率约为21.5%,时段多年平均年净补给量较大,分别为29.3mm/a和35.2mm/a,是现代多年平均补给量的3.23~3.87倍;区域地下水自变率最大,分别为-6.59mm/a和-6.72mm/a。在距今4000年以来,区域地下水获得的净补给变化频繁,补给量明显较小;区域地下水自变率变化频繁,但量值较小。千年时间尺度周期:8133~8250年、3062~4125年、1633~1650年和1029~1031年;百年尺度周期:750~851年、358年、284年、100~200年和100~140年;百年以下周期:60~80年、26~40年、10~22年、7~8年、5~6年和2.5~3.6年。

研究表明,2000~2010年水循环水分通量减少,区域地下水年补给量呈减少趋势,但

幅度有限;2010~2020年水循环水分通量显著增加,区域地下水年补给量存在增加的可能性;2020~2030年期间,千年尺度序列水文演化呈水分通量明显增加趋势,是未来百年尺度区域地下水主要补给期之一;2030~2050年期间,水循环水分通量将明显减少,区域地下水净补给可能再度出现10年或更长时间尺度的多年平均负均衡,水资源量将显著减少。

在地下水调蓄潜力研究方面,以南水北调工程实施的国家需求为契机,以中线受水区为重点研究区,系统研究了太行山前平原地下调蓄潜力,并给予科学量化评价,为解决下列问题,提供了重要科学依据。

(1) 如何高效利用和科学储存外来客水,使之与当地水资源实现统一调控和优化配置;

(2) 如何利用外来客水输入的机遇,修复严重超采区地下水环境及其相关的生态环境,将是一个无法回避的问题;

(3) 如何将客水存储并进行管理,特别是雨洪资源化的客水,放在哪里和如何调配。

全面实现流域地下水数字化和信息化,是提高对海河平原地下水监测和管理能力的要求,是未来地下水资源管理的必然趋势。本书以海河平原为背景,提出了流域地下水数字化设计基本框架和多层次系统结构,希望对该方面工作能有所参考。

本书撰写分工如下:费宇红研究员完成前言、第一章、第二章,第九章和第八章部分;刘克岩教授级高工完成第三章第一节和第八章第二节研究;陈宗宇研究员负责第三章第三节和第四章第三节工作;聂振龙博士承担第四章第四节和第七章第一节任务。其他各章节、统编与审改,均由张光辉博士完成。王金哲助理研究员完成书中图件编制和清绘,申建梅副研究员、李慧娣博士和赖勤波研究员参加了有关项目的研究工作。

本书在编写和出版过程中,得到了中国地质科学院水文地质环境地质研究所、水利部海河水利委员会和有关省国土、水利部门单位的大力支持和帮助,在此表示衷心地感谢。特别要感谢张宗祜院士在百忙中为本书作序。

作 者

2003年3月于石家庄

目 录

序

前言

第一章 研究背景	(1)
第一节 自然景观与人文社会	(1)
一、自然地理	(1)
二、水文条件	(5)
三、社会与经济	(9)
第二节 水资源属性与地下水利用现状	(10)
一、水资源自然与人文属性	(10)
二、地下水在总供水量中的作用	(14)
三、水资源供需与环境变化态势	(16)
第三节 理念发展与趋势	(18)
一、历史过程	(18)
二、热点问题	(20)
三、理性反思	(21)
四、科学焦点	(24)
五、主流趋势	(27)
第二章 地下水系统与环境	(30)
第一节 地下水属性	(30)
一、地下水系统资源特征	(30)
二、地下水资源属性	(32)
三、地下水资源分类与供水意义	(36)
四、地下水环境属性	(39)
第二节 基本概念	(41)
一、地下水系统概念	(41)
二、地下水资源组成	(43)
三、地下水系统多变性	(45)
四、地下水超采确定方法	(46)
五、地下水可持续利用性分析方法	(47)
第三节 地质环境与水文地质参数	(49)
一、地质环境	(49)
二、水文地质参数	(51)
第四节 地下水系统划分与评价分区	(54)
一、地下水系统划分	(54)
二、地下水评价分区	(59)

第三章 地下水形成地质历史过程	(61)
第一节 地下水形成地史环境演化	(61)
一、自然环境演变	(61)
二、古水文特征	(65)
三、陆表水体演化	(68)
第二节 圈层间水文过程特征	(73)
一、降水与气温变化过程	(73)
二、降水、径流、蒸发和气温之间互动关系	(78)
第三节 地下水主要古补给期	(80)
一、地下水中古气候记录	(80)
二、古气候条件下地下水补给	(82)
三、地史时期地下水补给演化过程	(84)
第四章 地下水与层圈间关系演化地史特征	(87)
第一节 地下水循环系统特点	(87)
一、浅部地下水循环系统	(87)
二、深部地下水循环系统	(89)
三、与人类生存关系	(90)
第二节 地下水演化与层圈间水分通量特征	(90)
一、地下水净补给与降水、径流和蒸发之间量化模式	(90)
二、地下水净补给与降水之间通量演化规律	(92)
三、地下水净补给与蒸发之间通量演化规律	(93)
四、地下水储变量自变化规律	(94)
第三节 各分区水分通量变化特征	(97)
一、12 000 年以来总特征	(97)
二、各时段特征	(99)
三、水循环演化结构熵分析	(103)
第四节 山前平原地下水演化规律	(107)
一、百年尺度特征	(107)
二、千年尺度特征	(111)
三、万年尺度特征	(112)
第五章 地下水变化与利用现状	(116)
第一节 地下水资源分布规律	(116)
一、地下水资源量与储量资源	(116)
二、区域分布规律	(118)
三、模数分布特征与质量	(119)
第二节 近 20 年以来地下水变化程度	(122)
一、地下水数量变化	(122)
二、地下水变化动因	(123)

第三节 地下水利用现状·····	(128)
一、开采能力变化·····	(128)
二、开采现状·····	(128)
三、超采状况·····	(134)
第四节 地下水储量资源消耗·····	(141)
一、浅层地下水状况·····	(141)
二、深层地下水状况·····	(146)
第六章 近 50 年以来地下水位变化及环境地质效应·····	(152)
第一节 地下水水位变化特征·····	(152)
一、山前平原浅层地下水埋深现状·····	(152)
二、区域地下水水位降落漏斗·····	(154)
三、典型区地下水水位降落漏斗发展过程·····	(157)
第二节 开采条件下地下水水位变化·····	(160)
一、地下水水位变化过程·····	(160)
二、地下水水位与开采量之间关系·····	(164)
第三节 开采地下水的环境地质效应·····	(165)
一、环境地质效应概况·····	(165)
二、地面沉降特征与现状·····	(167)
三、地下水变化对地面沉降影响机理与趋势·····	(168)
第七章 地下水演化趋势与可利用前景·····	(175)
第一节 地下水演化趋势·····	(175)
一、地下水演化周期性·····	(175)
二、未来气温与降水量变化·····	(177)
三、区域地下水演化趋势·····	(179)
第二节 地下水资源可利用前景·····	(180)
一、可利用资源现状与可利用性·····	(180)
二、地下水储量资源消耗时限警告性预测·····	(182)
三、地下水资源可恢复性·····	(184)
第三节 深层地下水资源可利用性·····	(185)
一、国外有关深层地下水利用理念·····	(186)
二、深层地下水自然属性·····	(186)
三、深层地下水资源有限性·····	(190)
四、补给模式与可利用潜力·····	(192)
五、深层地下水可利用性·····	(194)
第四节 南水北调对地下水环境修复潜在能力·····	(199)
一、南水北调背景·····	(199)
二、东线调水工程·····	(201)
三、中线调水工程·····	(207)

四、重点城市供需态势	(209)
第八章 太行山前平原地下水调蓄功能特征	(212)
第一节 地下调蓄地层岩性特征	(212)
一、包气带岩性特征	(212)
二、疏干含水层岩性特征	(214)
第二节 地下调蓄入渗功能	(216)
一、非河道条件下入渗功能	(216)
二、不同静态汇水方式入渗能力	(220)
三、动水条件下入渗功能	(224)
第三节 地下调蓄渗透与给水功能	(229)
一、地下调蓄渗透功能	(229)
二、地下调蓄给水功能	(234)
三、地下调蓄储水功能及与其指标关系	(234)
第九章 太行山前平原地下调蓄潜力	(237)
第一节 地下调蓄远景区特征与类型分区	(237)
一、地下调蓄远景区划定理论	(237)
二、调蓄远景区特征	(240)
三、地下调蓄类型分区	(244)
第二节 地下调蓄靶区特征与条件	(246)
一、地下调蓄靶区特征	(246)
二、调蓄能力与约束条件	(251)
第三节 地下调蓄潜力与对策	(252)
一、评价理论与方法	(252)
二、靶区调蓄潜力	(255)
三、调蓄方案、模式与效益	(263)
四、调蓄方案与优化模式	(265)
第十章 地下水系统数字化构想	(268)
第一节 总体构想与功能简介	(268)
一、总体构想与主体结构	(268)
二、ISHP 系统功能	(269)
第二节 地下水动态信息程控体系	(269)
一、体系结构与空间数据库特征	(269)
二、模型系统与分析原理	(273)
第三节 地下水动态监测体系	(280)
一、监测站网现状	(280)
二、总体思路与网站布局	(281)
三、设计方案	(283)
四、数据监查	(289)

第四节 地下水程控与监测体系间耦合·····	(291)
一、数据采集与传输模式·····	(292)
二、管理与运行机制·····	(293)
第五节 预警系统·····	(295)
一、预警系统功能·····	(295)
二、预警系统构成·····	(296)
三、预警系统效益·····	(297)
第十一章 可持续利用前景·····	(298)
第一节 可持续利用理念·····	(298)
一、可持续利用内涵·····	(298)
二、可持续利用性风险·····	(299)
第二节 历史警示·····	(300)
一、水系统及陆表环境永恒演化·····	(300)
二、历史见证·····	(300)
三、人类活动影响·····	(302)
第三节 可持续利用度量方法·····	(303)
一、缺水度量指标·····	(303)
二、度量尺度·····	(304)
三、可持续利用指针·····	(304)
四、支撑技术·····	(305)
第四节 问题根源与理性抉择·····	(306)
一、水问题根源·····	(306)
二、理性抉择·····	(307)
三、具体对策·····	(313)
第十二章 挑战与对策·····	(315)
一、水资源形势不容乐观·····	(315)
二、急需科学理念与管理·····	(316)
三、时代要求强化基础研究·····	(317)
四、客观认识地下水演化规律,是可持续利用前提·····	(318)
五、全新理念与科学思维,是开启文明水文化的钥匙·····	(319)
六、地下水涵养关键,在地下调蓄功能发挥·····	(320)
七、数字化与智能化,未来必然·····	(322)
八、行动·····	(322)
参考文献·····	(327)

第一章 研究背景

海河流域是我国重要的经济区,海河平原是海河流域人口密集区、社会和经济发达区,也是我国水资源最为紧缺的地区。地下水已经成为海河平原社会发展的重要支柱,在总供水量中地下水供水量占 68% 以上。

第一节 自然景观与人文社会

一、自然地理

海河是中国七大江河之一,源于太行山,全长 1031km。海河流域位于中国渤海以西,黄河以北(东经 $112^{\circ}\sim 120^{\circ}$,北纬 $35^{\circ}\sim 43^{\circ}$ 之间),地跨 8 省、自治区、直辖市,其中有北京市、天津市两直辖市,河北省大部,山西省东部、东北部,山东、河南两省北部,以及内蒙古自治区和辽宁省的一小部,流域面积 $31.82\times 10^4\text{km}^2$,占全国总面积的 3.3%。其中山区 $18.91\times 10^4\text{km}^2$,占流域面积的 59.4%;平原 $12.90\times 10^4\text{km}^2$,占流域面积的 40.6%,包括北京、天津、河北、山东、河南五省市。

海河流域东北部为东-西走向的燕山山脉,西部为南-北和西南-东北走向的太行山山脉。根据地貌成因、物质形态等因素,海河流域分为内蒙古高原区、华北山地区和海河平原区三种地貌类型。高原和山地区统称为海河流域山区,分布在流域的西部、北部;东西向的 50m 等高线以南,南北向的 100m 等高线以东为平原区,即海河平原。

海河平原,地势平坦,自北、西、西北三个方向向渤海湾倾斜,地面坡度由山前的 1‰~2‰至东部平原 0.01‰~0.03‰。按成因和形态特征划分为:山前冲洪积倾斜平原,中部泛滥冲积平原,东部滨海冲积、或湖积、海积平原。区内,微地貌类型复杂,决口扇、岗地、洼地等各种微地貌形态相间分布,大型洼地主要有永年洼、大陆泽、宁晋泊、大浪淀和东淀等。

海河流域包括滦河、海河及徒骇马颊河三大水系(表 1.1)。在各河系中,漳河、滹沱河、永定河、潮白河、滦河等河均发源于背风山区,源远流长,山区汇水面积大,水系集中,河道泥沙较多,目前,出山口处都有大型水库控制。卫河、滏阳河、大清河、北运河、蓟运河等大都发源于太行山、燕山迎风坡,支流分散,源短流急,洪水多经洼地滞蓄后下泄,泥沙较少。

表 1.1 海河流域主要河流河长、流域面积表*

水 系		河 名	河长 /km	流域面积 /km ²	备 注
滦河		滦河 冀东沿海诸河	833 —	54 530	石河、洋河、沙河、陡河等
海河	北三河	蓟运河	316	36 053	至宁河县防潮闸
		潮白河	467		至宁辛沽闸
		北运河	238		至天津大红桥
	永定河	洋河	278	47 066	怀来县朱官屯河口
		桑干河	437		怀来县朱官屯河口
		永定河干河	257.1		至屈家店闸
		永定新河	65.2		至塘沽区入海口
	大清河	北支	303	43 065	至新盖房闸
		南支	336		至枣林庄闸
大清河干流		104.2	至进洪闸		
独流减河		68.8	至工农兵闸		
子牙河	滹沱河	605	46 328	至献县闸	
	滏阳河	413		至献县闸	
	子牙新河	143.4		至入海口	
黑龙港 运东地区	黑龙港地区	—	22 580		
	运东地区	—			
漳卫 南运河	漳河	460	34 630	至称钩湾	
	卫河	382		至称钩湾	
	漳卫南运河	959		至海河干流入海口	
	漳卫新河	191		至海丰入海口	
	海河干流	海河干流	73	2 066	至海口
徒骇马颊 河系	马颊河	428	31 843	至马颊河入海口	
	德惠新河	173		至马颊河口	
	徒骇河	417		至徒骇河入海口	
海河流域总计				318 161	

* 河长引自《海河志》；面积引自郭宏宇等,海河流域水资源规划[R],水利部海河水利委员会,2001。

(一) 滦河水系

滦河,发源于河北省丰宁县巴延屯图古尔山麓,上源称闪电河,流经内蒙古,又折回河北,经承德到潘家口,穿过长城至滦县进入冀东平原,于乐亭县南入海。沿途汇入的支流