

中国水文地质环境地质问题研究

陈梦熊 著

地震出版社

1998

内 容 提 要

本书内容共分六个部分,比较系统地反映了我国水文地质学与环境地质学的最新发展与主要成就。重点分析了我国北方地区地下水资源在农业灌溉与城市供水中存在的主要问题和有关对策;特别强调了西北水资源开发与保护生态环境的重要意义。对沿海地区,提出了由于温室效应所引发的海平面上升,对地质环境和经济建设造成的不利影响。此外,还探讨了“地下水系统”的基本理论及其应用,以及关于环境地质学的基本理论,研究范畴与今后任务。本书涉及面较广,对广大地质工作者,不论是科研机构,大专院校或生产单位,包括地矿、水利、城建、环保等部门,均有参考价值。

中国水文地质环境地质问题研究

陈梦熊 著

责任编辑:曹可珍 吴霞芬

责任校对:庞娅萍

地质出版社 出版

北京民族学院南路 9 号

北京地大彩印厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 7.5 印张 192 千字

1998 年 12 月第一版 1998 年 12 月第一次印刷

印数 001—550

ISBN 7-5028-1564-3/P·953

(2007) 定价:16.00 元

序

光阴荏苒，岁月如流；回顾自 1942 年从昆明西南联大毕业，开始从事地质工作以来，转瞬之间，已临耄耋之年；一生中大部分的美好时光一去不返，能不为之感叹！解放前我在西北从事地质矿产调查，对西北地区产生了特殊感情；1946~1950 年，我在黄汲清先生领导下，参加中国地质图的编图工作，从此对编图工作孕育了浓厚兴趣。我以后所选择的道路，如长期来积极发展水文地质编图事业，和致力于西北水资源的研究，都与我早期的工作，存在着直接或间接的联系。

新中国成立之后，根据工作需要，我开始投身水文地质工程地质事业。50 年代初期，我参加宝成线的铁道新线工程地质勘察；从 1954 年起，我的大部分精力，主要集中到全国区域水文地质普查工作方面，前后近 30 年之久。在此期间，不断受到政治运动的冲击，特别是经历了 10 年的大浩劫，正常业务受到严重干扰。1978 年十一届三中全会的胜利召开，拨乱反正，以邓小平同志建设有中国特色的社会主义理论为指针，坚持以经济建设为中心，坚持改革开放政策，依靠科技进步，提出科学技术是第一生产力的英明决断，迎来了科学的春天，全面开创了社会主义现代化建设的新局面。从此不仅国民经济欣欣向荣，而且科学技术事业同样日新月异，突飞猛进。在水文地质学和环境地质学领域，也出现蓬勃发展的新景象。

从 90 年代到下世纪初期，正是我国国民经济建设进入高速度发展的新时期；但我国是一个 12 亿人口的大国，经济实力还比较薄弱，科学技术相对落后，人口、资源与环境之间的矛盾，将不可避免地日趋激化。例如水资源的供需矛盾日益紧张，特别是人为作用影响下，如水质污染以及由于不合理开采所造成的各种负环境效应，使水资源紧张更趋尖锐化。环境问题已成为制约国民经济发展和影响人民生活的重要因素。除了许多地区性的环境问题以外，全球气候变化，已成为当前众所关注的重大科学问题之一。例如由于温室效应导致全球气候变暖，并引发海平面上升，直接或间接对沿海地区的人民生活，以及沿海城市、海港、码头等人工建筑，带来严重危害。全球气候变化，还会对大陆的水循环造成影响，特别是干旱地区的干旱化、沙漠化，将导致生态环境的严重恶化，日益引起人们的关注与忧虑。大规模的经济建设，如三峡、小浪底等特大水电工程，京九、南昆等铁路新线、跨流域调水，以及许多新兴工业城市的兴建，都有可能诱发各种地质灾害，或对生态环境造成不利影响，使经济建设蒙受重大损失。我们正逢这一伟大时代，当此世纪交迭之际，所有地学工作者，将面临新时代的严峻挑战。

自 80 年代以来，虽然我已进入古稀之年，但在改革开放的大好形势鼓舞下，精神焕发，坚持发挥余热，开始进行第二次创业。一方面系统总结经验，一方面重点开展水资源与环境水文地质和环境地质问题的研究，成为我一生中收获最多的一个丰收季节。

由于实行改革开放政策，从 80 年代起，国际间的学术交流日益频繁；因此我有机会多次出国访问和参加国际学术会议，不仅扩大了眼界，开阔了思路，而且通过国际合作，对我的研究工作，也起到了重要的推动作用。例如通过两次国际会议，我把正在欧洲兴起的地下水系统理论引进国内，并参加国际水文计划（IHP）地下水系统研究专题工作组，担任亚洲典型

地区的实例研究；完成论文《华北黄河平原地下水系统》（与许志荣合著），已被纳入国际水文科学协会（IAHS）1986年出版的专著《地下水流系统分析》中，列为全球具有代表性的六大实例研究之一。为了研究地下水系统由于水资源开发可能产生的各种负效应，我又承担了国际水文计划关于“水资源开发的负效应与管理”的国际合作项目，负责其中地下水部分，组织国内专家，在总结我国经验的基础上，共同完成了这项任务。这项成果已于1988年由国际水文科学协会正式出版，比较系统地反映了我国在环境水文地质研究方面所取得的重大成就，受到国外同行的较高评价。

进入90年代，我的工作条件又有所改善。我有机会多次参加野外考察，如1993年参加中科院组织的沿海地区海平面上升问题的调查研究，1995年参加河西走廊和内蒙额济纳旗的水资源考察，1996年参加地矿部高咨中心组织的新疆塔里木盆地水资源考察，1997年又先后进行三峡工程库区地质灾害考察与宁夏宁南地区的水资源考察等。通过实地调查，接触到许多新情况、新问题，因而就获得许多新体会和新认识。例如不到西北实地考察，就难以理解由于水资源不合理开发对生态环境所造成的严重后果。通过沿海地区的考察，才认识到海平面上升所造成的影响，并非遥远的将来所要发生的问题，而是当前工程设计中就需慎重考虑的紧迫问题。这些考察工作的收获，也是近年来我所发表的若干论文的主要源泉。

今年正逢我的80周岁寿辰，我愿把这本著作作为我的生日献礼，献给我的同事、同行和好友们留作纪念。这也是我晚年对发展水文地质、环境地质事业所作出的一点微薄奉献。我愿在有生之年，继续发挥余热，为我国的科学事业和祖国的富强昌盛而不断努力！

陈梦熊

1997年12月于北京

前 言

这本“专著”，大多数是我近十多年来陆续发表的部分论文，经过重新整理组合和补充修改以后，加以汇编而成。全书内容包括六个部分。虽然六大部分反映六方面的问题，但相互联系，自成系统，形成一个比较统一的整体；基本反映了我国水文地质学与环境地质学的发展过程、主要成就，以及当前存在的主要问题。

第一部分是概括论述我国水文地质学的发展史，着重探讨近半个世纪来，由传统水文地质学发展到现代水文地质学的演变过程及其基本特征；在此基础上，提出了我国水文地质学新的学科体系。

第二部分以探讨我国水资源问题为主，着重分析我国地下水资源的形成条件、分布规律与区域特征；对当前城市水资源严重紧缺问题，着重分析了城市水资源与城市规划和工业合理布局的相互关系，提出了缓解城市水资源供需矛盾的各种途径。我国农业灌溉用水约占全国水资源总消耗量的 75%，但利用效率很低，浪费严重；因此建立高效节水农业，是解决农业灌溉用水问题的主要出路。我国北方水资源相对比较贫乏，但地下水资源却较为丰富，不论是农业灌溉或城市供水，均占有重要地位；因此合理开发利用地下水资源，充分发挥地下水潜力，在北方地区，具有特殊重要意义。随着我国工业的高速发展，工业需水量将日益增长，工农业用水矛盾，将日趋突出。作者提出，应在农业大力节水的基础上，合理调整农业用水与城市及工业用水的比例关系，逐步减少农业用水量，扩大工业用水量，即降低农业用水的比重，提高工业用水的比重，实行城市及工农业用水全面规划，地表水，地下水统一调度，加强科学管理，那么大部分地区，在不大规模扩大水源的原则下，就可基本满足供水需求。但要实现这一目标，并非轻而易举，而是要完成一项十分艰难而复杂的系统工程。

第三部分着重讨论西北干旱区的水资源问题，强调西北水资源存在的主要问题，并非供需之间的矛盾，而主要是上下游之间水资源的分配不合理与地表水、地下水之间缺乏统一调度和综合开发。这一部分深入分析了水资源的不合理开发，是干旱区生态环境严重恶化，特别是荒漠化急剧扩大的主要原因，提出了干旱地区水资源系统与第四纪盆地系统的新概念，和合理开发利用水资源的主导方向。

第四部分着重讨论沿海地区水资源开发与相关的环境问题。全球性气候变化，特别是近百年来温室效应引发的海平面上升，已成为全球普遍关注的一个重大环境问题。这里详细分析了海平面上升引发的各种环境效应，重点讨论了津、沪两大城市，在海平面上升的影响下，合理控制地面沉降的重要性。提出沿海地区地质环境系统与人地系统的新概念，及其对国民经济可持续发展的重要意义。

第五部分主要介绍地下水系统的基本理论及其实际应用。自 80 年代初地下水系统理论从西欧引入国内以后，对我国地下水资源的研究与计算，已经发生重大影响。文内列举国内外大量实例，重点提出在地下水系统分析的基础上，建立概念模型的具体应用与表现方法。

第六部分主要探讨环境地质学的最新发展与当前存在的主要环境地质问题；提出个人对环境地质学的新涵义与新认识，建立了地质环境系统的新概念及其基本框架，并指出今后环

境地质学在理论研究方面与经济建设中实际应用的基本任务和努力方向。

以上概略阐明了本书的基本内容与主要意图。由于个人学识浅薄，对上述问题缺乏深入研究，因此涉及的范围有限，提出的观点与意见也十分粗浅，有的想法还很不成熟，只是大胆探索，以期对读者有所启发，但不免存在许多谬误之处，尚希读者不吝批评指正。我国自然条件复杂，自实行改革开放以来，国民经济飞速发展，在自然因素与人类活动的双重影响下，经济发展与资源和环境之间的矛盾也日益突出，各种新的事物与相应出现的各种新问题，也层出不穷。面向新时代的挑战，为了国民经济的可持续发展，如何协调好人与环境的关系，合理开发资源和保护、改善环境，已成为地学工作者不可推卸的责任。本书的主要目的，就是要引起广大社会、特别是地学工作者对上述问题的关注，共同为我国国民经济建设的可持续发展做出贡献。

由于国民经济的高速发展，各种情况变化较大，往往影响水资源量或其它数据的变化。因此本集内各篇论文，由于完稿的时间不同，所以同一数据可能出现前后不一致的地方，尚希读者鉴谅。此外，各篇论文的参考文献被删略，如果需要查阅，请参考附件中的著作目录，根据原出版的刊物，即可查到参考文献。

本书大部分著作，都是近十年来我在地矿部科技高级咨询中心工作期间所完成的。我要感谢高咨中心两位主任夏国治和许宝文同志，对这项工作的大力支持与热情鼓励。我还要特别感谢原地矿部《水文地质工程地质》编辑部吴霞芬女士以及地震出版社的曹可珍同志，他们对本书的编辑、审校和出版工作，付出了很多精力和劳动。最后，对我的老伴邹学雯女士表示谢意，她在繁忙的家务劳动之余，不仅抽出不少时间承担誊抄工作，而且提出了不少宝贵意见。

1997年12月，北京

目 录

序	(1)
前言	(3)
中国水文地质学的发展史	
中国水文地质学的发展与成就	(1)
论水文地质学的新学科体系	(10)
水资源与社会经济可持续发展	
中国地下水资源的区域特征与初步评价	(14)
城市水资源问题与对策研究	(22)
农业水资源与可持续发展	(30)
西北干旱区水资源的开发利用与生态环境	
河西走廊水资源开发与生态环境	(38)
新疆水资源及其合理开发利用	(42)
西北干旱区水资源与第四纪盆地系统	(49)
沿海地区海平面上升与地质环境	
关于海平面上升及其环境效应	(55)
关于海平面上升与控制城市地面沉降	(62)
沿海地区地质环境与地质环境系统	(71)
地下水系统的基本理论及其应用	
地下水系统的基本理论与研究范畴	(76)
地下水系统研究与概念模型	(82)
环境地质学与环境地质问题	
环境地质工作的基本任务与最新发展	(91)
环境地质学的基本理论与研究领域	(98)
主要论著目录	(104)

Contents

Preface	(1)
Foreword	(3)
Historical Development of Hydrogeology in China	
The Development and Achievement of the Hydrogeological Science in China	(1)
A New Schematic System of the Hydrogeological Courses	(10)
Water Resources and Social-economic Sustainable Development	
Regional Characteristics and Assessment of Groundwater Resources in China	(14)
Studies on the Problems of the Urban Water Supply and Its Protective Measures	(22)
Agricultural Water Resources Related to Sustainable Development	(30)
The Exploitation and Utilization of Water Resources Related to Ecological Environment in Arid Area of Northwest China	
Development of Water Resources and Eco-Environment in Hexi Corridor of Gansu Province	(38)
The Rational Development of Water Resources in Xinjiang Uygur Autonomous Region	(42)
The Water Resources Related with Quaternary Basin Systems in Arid Area of Northwest China	(49)
The Rise of Sea Level Related to Geological Environment in Coastal Area	
The Rise of Sea Level and Its Environmental Effects in Coastal Area	(55)
The Rise of Sea Level in Relation with the Control of Land Subsidence in Urban Area	(62)
The Characteristics of the Geological Environment and the Geo-environmental System in Coastal Area	(71)
The Basic Conceptions and Applications of Groundwater System	
On the Basic Theory and the Scope of Researches of Groundwater System	(76)
Analysis of Groundwater System Related to Conceptual Model	(82)
Environmental Geology and Environ-geological Problems	
The Current Development and the Main Tasks of the Environ-geological Investigations	(91)
On the Basic Theory and the Researching Scope of the Environmental Geology ...	(98)
Bibliography of Publications	(104)

Abstract

The whole book is composed of 15 papers and divided into 6 parts mostly written during the past 10 years. The first part is a general introduction to the historical development of the hydrogeology in China. The second part gives an outline of the groundwater resources of China and pays special attention to the hydrogeological problems on urban water supply and agricultural irrigation. The third part is in focus to analyze the complicated relationships between the hydrogeological system and the irrigation system, as well as the water resources system and the eco-environmental system under the man-made influences in arid area. The fourth part delineates the changes of the geological environments in coastal area due to both of the sea-level rising caused by "green house effect", and also the impacts of human activities particularly resulting from the rapid development of the economic constructions. In order to diminish the injury of sea level rising, the importance of controlling land subsidence in urban area due to over-exploitation of groundwater is emphasized because of the magnitude of land subsidence is much larger than that of the rise of sea level. The fifth part is dealing with the basic conception and the application of the theory of groundwater system, especially in the use to establish a conceptional model. The sixth part is mainly to discuss the basic definition and the key themes of the environmental geology, a so-called "man and earth system" is attempted to be established known as the great open complexity system in concern with both of the natural environment systems and social-economical systems. The scopes and the constructions of this theoretic system are under discussion.

中国水文地质学的发展史

中国水文地质学的发展与成就

一、引言

我国水文地质学作为地质科学中的一门独立学科，实际上创立于新中国建立之后的 50 年代。传统水文地质学的基本概念在早期 50~60 年代，主要从前苏联引进。70 年代以来，与西方国家之间的学术交流与国际合作日益频繁，促使我国水文地质学的迅速发展；特别是许多新理论、新技术的输入，导致传统水文地质学逐渐演化，进入到现代水文地质学的新时期。

“水文地质学”这一术语，虽然早在 19 世纪初，就在欧洲被正式提出来；但真正成为地质科学中一门比较完整、系统的独立学科，只是本世纪 30~40 年代的事。特别是二次大战结束以后，随着地质科学的迅速发展，西方许多国家（包括前苏联）对地下水的研究，开始在地质科学的基础上（如地层学、岩石学、构造地质学、地球化学、地球物理学等），和其它一系列基础自然科学（如数学、物理学、化学、生物学等）以及水文科学相互结合，相互渗透，逐渐发展成为一门跨学科的综合性边缘学科。水文地质学从研究地下水的自然现象、形成过程和基本规律，发展到对地下水的定性、定量评价；它的基本理论，勘察方法和应用方向，也逐步形成。从 70 年代以来，水文地质学又从地下水系统的研究，进一步扩大为研究地下水与人类圈内由资源、环境、生态、技术、经济、社会组成的大系统。因此水文地质学的研究目标，开始转入到研究整个水系统与自然环境系统和社会经济系统之间相互关系的新时期。

我国对地下水的认识和开发利用，虽具有数千年的悠久历史，但真正运用地质科学的理论与方法，进行地下水的调查研究，仅开端于 30 年代。如老一辈的地质学家朱庭祜、谢家荣等，曾于这一时期分别到过江西、河南及南京等地区，进行地下水的调查研究，并著有论文或报告。但水文地质学，作为地质科学领域内一门独立的应用地质学科，是在新中国成立后 50 年代，才迅速发展起来的。

作者曾把我国水文地质学的发展历史，划分为四个阶段，即：萌芽阶段（20 世纪前）；初始阶段（1990~1950），开始应用地质学的基本理论研究地下水；奠基阶段（1950~1980），主要在苏联学术思想影响下，奠定水文地质学的理论基础，是区域水文地质学与农业水文地质学的开创时期；成长阶段（1980~1998），是水资源水文地质学、城市水文地质学与环境水文地质学的发展时期，主要受西方科学技术思潮影响，如系统论、系统工程、计算机技术等新理论、新技术的输入，使我国的传统水文地质学，发展到一个以研究水资源与环境问题为重点的现代水文地质学。

二、关于区域水文地质学的发展

50年代地质部成立以后，各省的水文地质专业队伍和有关的研究机构以及地质院校等也先后建立，这为水文地质学的发展，创造了必要的条件。当时长春地质学院苏联专家克里门托夫教授，结合讲学编著了《水文地质学》、《水文地质学概论》、《普查与勘探水文地质学》、《地下水动力学》、《矿床水文地质学》等教材，成为我国最早的一批水文地质专业教科书。苏联新的理论，还通过许多著名学者的著述，不断输入中国。如 O. K. 朗格关于区域水文地质分区理论，G. H. 卡明斯基关于地下水的渗流理论，H. A. 普洛特尼柯夫关于地下水储量分类与评价，A. B. 列别捷夫关于灌区地下水动态预测，以及 A. M. 奥弗琴尼柯夫关于矿水方面的专著等，对我国水文地质学的发展，都产生了深远的影响。

各国水文地质学的发展都是从区域水文地质的调查研究开始，我国也不例外。从50年代中期起，我国有计划地在全国开展区域水文地质普查，推动了区域水文地质学的发展。1958年编制出版第一幅比例尺1:300万中国水文地质图和第一本专著《中国区域水文地质概论》；1959年为纪念建国十周年，出版了我国第一本利用本国资料编著的《实用水文地质学》。1957年正式出版发行我国第一个《水文地质工程地质》刊物。这一时期发表了许多有关中国水文地质分区、中国潜水带规律、中国的自流盆地，以及有关华北平原、松辽平原、关中平原、内蒙高原、河西走廊，柴达木盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地等的区域水文地质论文或专著。因此50年代是我国区域水文地质学的开创时期。70~80年代除少数困难地区外，我国区域水文地质普查基本完成，并开始转入重点经济发展区，如黄淮海平原、济、徐、淮地区，长江三角洲、东北经济区等地区，开展区域地下水资源与环境水文地质评价的调查研究，完成了许多重要研究成果。

在区域水文地质普查资料的基础上，从60年代起，我国中小比例尺水文地质图编图工作迅速发展，并创立了一套具有中国特色的水文地质图编图方法，编制出版了许多按省、市或按地区编制的图幅、图系或图集。其中1978年出版的《中华人民共和国水文地质图集》，基本上系统地反映了我国从50年代以来，区域水文地质工作的主要成果。在此以后，北京、河北、辽宁等省市，也都编制出版了本地区的水文地质图集。

80年代以来，在普查资料基础上，还开展了许多专题研究。如四川、湖南等省对红层裂隙水的研究，中国玄武岩裂隙孔洞水的研究，黄土地下水的研究，以及北方岩溶水的研究等，均已取得重要成果。此外，在普查工作中普遍应用了遥感技术，在系统总结大量遥感资料的基础上，编制出版了《北方遥感水文地质应用文集》，同时还编制了《北方典型遥感水文地质图象集》与《中国岩溶地区典型遥感水文地质图象集》，促进了我国遥感水文地质的发展。以上大量成果，为创建我国的区域水文地质学，奠定了良好基础。

三、关于农业水文地质学的发展

60年代，由于在华北开展大规模的抗旱打井运动，成为农业水文地质学的开创时期。针对农田供水与盐土改良两项任务，开展了大量的调查研究，编制了大量图件，为北方地区发展井灌，实行农田水利化，作出重要贡献。70~80年代又进一步开展许多为发展农业服务的

专题研究，如黄、淮、海平原旱、涝、盐等自然灾害综合治理的研究，河南商丘地区潜水资源与人工调蓄的研究，河套平原和银川平原关于水盐均衡和盐土治理的研究，以及河西走廊地下水合理开发利用的研究等，为农业水文地质学的发展奠定了基础。

地质部门对土壤水的研究是一个薄弱环节，而土壤水研究是促进农业增产与建立节水型农业体制的关键。从 70 年代到 80 年代，随着许多均衡试验场的建立，以及负压计、中子仪等新的测试技术的引进，促进了包气带土壤水运移规律的研究。河南水文地质总站与有关部门合作，通过“四水”转化关系的机理研究，对土壤水运移机理进行系统分析，并通过田间作物的观测试验，应用土壤水分运动通量法和定位通量法，计算了有植被条件下的降水入渗量、蒸发量以及其它有关数据，建立了“四水”均衡模型，证明在“四水”相互转化关系中，土壤水起着重要的调蓄作用与相互制约作用。这对如何充分发挥土壤水的功能，提高作物用水效率，建立节水型农业，具有重要的实际意义。

零通量面法是近期国外发展起来的一种研究土壤水补给、损耗和均衡的田间试验新方法；对研究土壤水分运动，有重要的实用价值。它采用测量土壤含水量和土壤水势的先进技术，方法简便；与数值模拟方法或地中渗透仪测试方法相比，具有经济、区域代表性强，设点推广容易等优点。不久前水文地质工程地质研究所完成了专著《零通量面方法应用基础研究》，系统地论述了零通量面的基本原理、形成规律及其计算方法。研究工作采用物理模拟试验和田间试验相结合的方法，提出了零通量面法的应用范围以及零通量面法与定位通量法的联合运用法；并建立了改进型定位通量法，提出零通量面法与改进型定位通量法联合运用等各种不同的计算方法。这为今后开展土壤水的研究，创造了有利条件，对发展我国农业水文地质学，也能起到重要作用。

四、关于环境水文地质学的发展

随着城市建设和工业建设的迅速发展，人民生活水平的不断提高，城市水资源的供需矛盾与相应发生的环境问题日趋严重。因此从 70 年代到 80 年代，各省都开展了主要为城市和工业建设服务的水文地质工作。也可以说，这是我国城市水文地质学的开创时期。虽然早在 50 年代，北京、西安、包头、太原等城市，就已进行过水源地的勘察研究，但当时主要局限于水资源评价，而当前城市水文地质研究的目标，不仅要查明城市区域水文地质条件，对地下水资源作出评价，而且还要分析研究水质污染与地下水大量开采所引起的各种负环境效应，如海水入侵、地面沉降、岩溶塌陷等地质灾害。

从 70 年代开始，大多数大中城市，开展了城市地下水污染现状的调查，包括污染源、污染途径、污染成份、污染程度、分布范围、发展趋势等等。80 年代在污染现状调查的基础上，进一步开展了地下水污染机理的研究，包括污染物质的运移、累积、转化与自净过程，特别是污染物质的机械渗滤作用，物理化学吸附作用，离子交换作用，浓缩或稀释净化作用，以及放射性元素的衰变作用等的研究。

研究工作普遍采用了室内模拟试验等新方法。例如呼和浩特市所进行的地下水硝酸盐氮污染机理与防治对策的研究，运用多种模拟试验，研究三氮在包气带介质环境中的行为过程，深入分析硝化与反硝化作用的主要影响因素。通过微生物检验和生物化学的研究，认为硝酸盐氮的污染机理，主要是以硝化作用为主的生物化学反应过程，证明硝化菌在三氮转化中占

有重要地位，是硝化反应中的主要影响因素。生物化学作用在污染机理研究中，是我国的一个薄弱环节，这项成果，是对生物化学作用研究的一个突破。此外，如上海地下水砷污染研究，北京关于地下水硬度变化机理的研究等，都进行了大量室内模拟试验，大大提高了研究水平。西安进行的污灌现场入渗试验，以及济宁水质模拟研究所进行的弥散试验，均取得良好效果，查明了污染物的运移、富集规律，为选择污染治理对策，提供了科学依据。

为了预测水污染的发展趋势，并进行合理控制，近年来水质模型的研究，也已取得很大进展。1984年完成的《山东济宁地下水水质模拟及其污染趋势预测的试验研究》，是我国最早的一项水质模型研究，起到了带头示范作用。以后石家庄、新乡、平顶山等城市，对地下水管理模型的研究，都在建立水量模型的同时，建立了研究溶质运移的模拟模型。在计算方法上，普遍采用了有限元或有限差分等数值法，从而提高了参数的精度和计算结果的可信性与可靠性。

许多城市开展了地下水的环境质量评价，并已逐渐由单项有害离子评价，进入到综合评价；由单项环境因素评价，进入到综合因素评价；从现状评价，发展到趋势评价；由数理统计分析，发展到污染预测和建立水质数学模型。各种评价方法，如综合指数法、概率统计法，以及聚类分析法（包括模糊聚类法与系统聚类法），均得到普遍应用。在模型研究方面，王秉忱等编著的《地下水污染与地下水水质模拟》，及朱学愚编著的《地下水运移模型》，为研究水质模型奠定了理论基础。林学钰等编著的《地下水水量模拟及管理程序集》，简明论述了建立各种模型的技术方法与求解过程，详细罗列了计算程序与使用指南，为开展水质模拟和预测研究，提供了有利工具。

地下水大量开采所引起的各种负环境效应，主要包括水量枯竭、水质恶化、海水入侵、地面沉降、岩溶塌陷，以及生态环境恶化等问题，对人类生活和社会经济造成威胁，因此是城市水文地质工作中的重要研究内容之一。

地下水由于过量开采所形成的水量枯竭，是当前城市水资源开发中最突出的一个严重问题。但过量开采并不意味着水资源不足，这与水资源的开发与水源地的布局是否合理直接有关；当然也与城市发展和工业布局，是否与水资源条件相适应，直接相关。所以严格的讲，这是一个水资源的合理开发与科学管理问题。北京近郊区的七个水源地，由于过度集中，长期处于超采状态。近年来经过全面规划，先后在潮白河冲积扇增建了水源8厂与利用密云水库地表水修建的水源9厂，使北京市供水紧张状况基本得到缓解。目前正在高碑店修建设计污水净化能力每天100万方的污水处理厂，如果投产后同时再采取人工补给等措施，那么北京的供水问题，是基本可以得到解决的。沈阳、济南等城市，同样都出现严重超采，但近年通过管理模型的研究，说明如果扩大开采范围，合理调整水源地布局，地表水、地下水综合开发，水源枯竭问题也是可以得到克服的。

人工补给是扩大水资源，解决过量开采的一个重要途径。近年来各地对地下水人工补给，进行了大量试验研究。如北京黄村进行的人工补给试验，石钢大口径井回灌试验，以及若干厂矿冷却弃水的回收试验等，均已获得成功；有的已经实现投产，发挥了经济效益。为了解决北京供水紧缺问题，水文公司完成了《北京西郊地下水库试验研究报告》，根据回灌水动力场、温度场、浓度场的变化规律，分别建立了数学模型，圈定了边界范围，制定了工程规划和优化调蓄方案，预计可建成8亿立方米的大型地下水库。北方许多城市条件类同，这为今后北方城市开展人工补给的研究，开创了前进道路。

地下水硬度升高，是各城市出现水质恶化最为普遍而又突出的一个问题。如前所述，通过模拟试验与深入分析，已初步得出结论，其形成机理与表土层结构、含水层结构、地下径流条件、废水排放，以及由于地下水开采造成的水动力场的变化等因素有关，因此是多因素形成的，成因比较复杂。由于各地区具体条件不同，所以每一地区的主导因素与形成原因，也因地而异。

沿海城市的海水入侵问题，以大连市开展研究最早。通过详细的分析研究与现场测试，根据水质变化与开采时间、开采降深和开采强度的相关关系，在保证水质条件不变的情况下，计算了最大容许降深与最大合理开采量。过去国外关于海水入侵的模型研究，主要假设咸淡水之间有一个截然的分界面，而实际上咸、淡水层之间显然存在一个过渡带。近年来南京大学在山东莱州、龙口所进行的海水入侵数学模型研究，是在考虑咸、淡水之间存在过渡带的前提下，建立了我国第一个三维咸淡水界面运移数学模型，这在国际上也是一项突破。北海市滨海水源地，是多层承压含水层，如何确定海底边界是一个难题。通过对多层承压含水层海底边界类型的分析研究，提出海底排泄边界的“等效边界”新概念，和确定“等效边界”的新方法，解决了模型计算问题，这也是海水入侵研究中一项新进展。

由于过量开采所造成的地面变形，如上海地面沉降，从 60 年代起就已开始研究，基本查明了沉降机理，并采取了人工回灌等综合治理措施，建立了回灌量、开采量与沉降量的相关模型；到 70 年代，基本得到控制，受到较高评价。80 年代与比利时专家合作，又在二维渗流模型的基础上，加上反映地面沉降的一维有限元解，组成水动力模型与土力学模型相统一的二维渗流与一维固结的渗流沉降模型，并通过数值模拟，预测开采量与回灌量不同比值下，可能发生的沉降量。这在国内外都是首创。通过多年来实行“冬灌夏用，夏灌冬用”的观测试验，在地下水储能研究方面，查明了采灌过程中储能含水层水温的时空运移规律，建立了单井、对井、群井灌采水量与水温关系的三维热运动模型，这项成果同样是具有开创性的。此外，天津、常州、西安等城市，对地面沉降的研究，也取得不同程度的进展。

关于岩溶塌陷，不论在南方或北方，都进行了深入研究。岩溶地质研究所 1990 年出版的专著《中国南方岩溶塌陷》，对岩溶塌陷的基本原理、形成条件与形成机制，进行了详细分析，提出了分类方法与防治措施，在《北方岩溶》的专题研究中，对北方的岩溶塌陷问题也进行了系统总结。除上述情况以外，地裂缝是另一种特殊的与地下水开采有关的地面变形现象。西安市出现的多条雁行排列的地裂缝，对城市建筑造成严重危害，经过长期深入研究，认为新构造运动是形成地裂缝的内因，而大量开采地下水是主要外因，对地裂缝的发展起到激发作用。看来这一结论，是比较符合实际的。

综上所述，我国从 70 年代以来，在城市水资源与环境水文地质研究方面，都取得了重大进展。地矿部水文地质工程地质司主编的《中国 2000 年城市地下水资源及环境地质问题预测研究》，比较全面的综合反映了我国城市水文地质工作的主要成果。国际水文科学协会 1988 年出版的《水资源开发的环境效应与管理》一书（英文），其中地下水部分主要由我国专家共同编著，内容包括过量开采、人工补给、水质恶化、海水入侵、地面沉降、岩溶塌陷、生态环境与模型研究等，分别论述了各类环境负效应的基本原理、形成机制、计算方法与治理措施，并附有若干城市的实例研究，系统反映了我国近年来在这一领域所取得的重要成果，在国外受到较高的评价。

关于环境水文地质学，是在城市水文地质学发展的基础上成长起来的，现在基本上已经

逐渐形成水文地质学中的一个独立分支。值得高兴的是 1990 年先后出版了两本作为教科书用的《环境水文地质学》，标志这门新学科的诞生。美中不足的是两本书的内容，都比较偏重污染环境水文地质与医学环境水文地质方面，而且引用的实例也比较少，不能充分反映我国 10 年来所取得的大量研究成果。作者在 80 年代初，曾著文探讨环境水文地质学的基本概念与研究范畴，认为存在两种不同观点。一种观点是把环境水文地质学的研究内容，局限于与人体健康有关的污染环境水文地质与医学环境水文地质方面；另一种观点，主张包括研究与人类生活和生产活动有关的一切环境水文地质问题。因此作者认为，前者属于狭义的环境水文地质学，而后者属于广义的环境水文地质学。

所谓广义的环境水文地质学，主要包括：区域环境水文地质；污染环境水文地质；医学环境水文地质；工程环境水文地质；生态环境水文地质。10 年来大量事实说明，以上五项内容中，区域环境水文地质研究，已经取得大量成果。举例来说，地矿部门开展的十几个大片的区域水文地质工程地质综合评价研究，都把区域环境水文地质，作为主要研究内容之一。京津唐地区开展了环境水文地质问题与环境水文地质区划的研究；松花江流域与长江中下游，开展了地下水环境背景值的调查研究；北京、西安、上海、长春、宁夏等编制了环境水文地质图集或图系，水文所正在编制“中国环境水文地质图”，都属区域环境水文地质研究范畴。由此说明，区域环境水文地质研究，是环境水文地质学的主要内容之一。

在工程环境水文地质方面，主要是研究地下水与地面变形的关系。如前所述，近 10 年来，关于地面沉降、岩溶塌陷、地裂缝等研究，不仅取得大量成果，而且已有向独立学科发展的趋向。在生态环境水文地质研究方面，重点目标是西北干旱地区由水资源开发所引起的沙漠化、盐渍化、沼泽化以及湖泊干枯、萎缩等生态环境恶化问题。近年来在石羊河、格尔木河及塔里木河等流域，都进行了有关研究；在南方开展了地下岩溶水与农业生态环境的研究；在华北、东北地区开展了大型引水工程，对生态环境影响的研究等。1991 年我国还专门召开了生态环境水文地质学术讨论会。在国外“地下水生态学”已日益引起重视，今后有可能将发展成为一门新学科。

值得一提的是，近年来医学环境水文地质学有很大进展，特别是对地下水化学成份与癌症关系的研究，有所突破。江西鄱阳湖地区，通过地下水环境背景值的调查，对 38 项元素或离子的含量和分布，与 10 种癌症死亡率之间的相互关系，进行了详细的统计分析，把地下水化学成份与癌症的相关性，划分为以下三大类：具二重性，即对某几种癌症呈正相关，对另几种呈负相关；呈正相关；呈负相关。每一类又按显著程度划分若干亚类，并提出影响系数的新概念。根据影响系数，可以按地下水化学成分，对癌症的发生与发展，作出评价。此外，通过许多科研单位的共同合作，科学出版社出版了《中华人民共和国地方病与环境图集》；若干地方病比较严重的省、自治区，如内蒙、甘肃、吉林、云南等，也分别出版了本地区的地方病环境图集，能比较系统地反映水文地质环境与地甲病、高氟病、克山病、大骨节病等几种主要地方病的相互关系。

五、关于水资源水文地质学

关于地下水资源的勘查与评价，据地质部门统计，自建国以来登记上表的地下水水源地，共计 1243 处，已开采的 832 处，其中大型水源地（允许开采量 $5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 以上）494 处，中

型 ($1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$) 519 处, 小型 230 处。按含水介质类型划分, 孔隙水类型共 846 处 (68%), 岩溶水类型 315 处 (25%), 裂隙水类型 82 处 (7%)。可见除孔隙水类型外, 裂隙水与岩溶水类型也占有较大比例。

自 70 年代以来, 由于应用数学和地下水动力学的相互渗透, 以及电算技术的推广和应用, 大大丰富和突破了传统水文地质学的内容, 使水文地质学从定性研究发展到定量研究的新阶段。地下水资源计算的基本理论, 从稳定流发展到非稳定流, 从二维流发展到三维流, 从一般均衡法、比拟法, 进入到解析解、数值解。举凡有限单元或有限差分法、相关分析法以及解析解法等, 在地下水资源评价中得到普遍应用。因而不论在理论上和具体计算技术上, 都较以前提高到一个新的水平。地矿部近年编写出版的《中国典型水源地勘察实例汇编》, 以及国家矿产储量管理局组织编写的《地下水水源地的勘查与评价》, 总结了各种类型地下水水源地勘探方法与资源评价的重要经验, 是我国水源地勘探与城市水资源研究的一个初步总结。

80 年代出版的《中国干旱半干旱地区地下水资源评价》(曲焕林主编), 汇集了北方地区地下水资源研究的大量成果, 是我国在 70 年代以来北方区域地下水资源评价研究的系统总结, 基本反映了我国这一领域在 70~80 年代初的理论水平与技术水平。我国区域水文地质条件复杂, 因此报告中基本上包括了各种不同地区类型的数学模型。例如以地下水弹性效应为基础的数学模型, 以地下水延迟给水效应为基础的数学模型, 以及以反常水位效应为基础的数学模型等。

商丘在人工调蓄条件下建立的多年均衡法与有限元法结合的数学模型, 石羊河流域根据地下水动态演变规律应用不规格有限差分法建立的数学模型, 以及黄土层饱和与非饱和地下水的联合数学模型等, 在国内均有开创意义。在参数研究方面, 以地下水弹性效应为基础的泰斯公式, 得到普遍应用。其它如以延迟给水效应为基础的布尔顿理论和纽曼理论, 含水层系统的越流理论, 以及辐射井的计算公式等, 也都得到应用, 开拓了参数研究的新领域。在黄土地下水研究方面, 建立了与岩溶裂隙水有区别的以反常水位效应为基础的黄土双重孔隙介质潜水井流新理论, 这是对黄土层渗流理论研究的一个新突破。

此外, 有关地下水资源评价的基本理论和计算方法, 已有若干专著或论文集出版, 如朱学愚等所著《地下水资源评价》, 陈雨孙所著《地下水运动与资源评价》, 李俊亭所著《水文地质统计和随机模拟》, 《地下水流数值模拟》, 以及论文集《地下水资源评价理论与方法的研究》等, 为我国地下水资源评价研究, 奠定了理论基础。

80 年代后期地下水资源研究的一个重要标志, 是把主要目标逐渐转向管理模型的研究, 即研究如何合理开发、利用、调控和保护地下水资源, 使之处于对人类生活与生产最有利状态。因此它不仅涉及水文地质学的各个领域, 而且涉及与地下水开发活动有关的自然环境、社会环境和技术经济环境等各方面的问题, 通过数学模型和最优化技术, 建立地下水管理模型, 实现管理目标。最近出版的作为教材用的《地下水资源管理》一书(陈爱光等编著), 是我国第一本内容比较全面, 有关管理模型基本理论和研究方法的专著。从系统工程的观点出发, 对地下水资源管理的含义, 概括为“在一定约束条件下, 通过某些决策变量的操纵, 使系统按既定的目标达到最优。”所谓约束条件, 除水量, 水质约束条件外, 还包括环境约束条件(特别是开采引起的负环境效应)、社会经济约束条件, 以及工程技术约束条件等。90 年代林学钰等又先后发表《实用地下水管理模型》和《地下水管理》等专著。

《石家庄市地下水资源科学管理研究》是我国较早完成具有代表性的关于管理模型的研究

成果，按照系统化、模型化、最优化的总体构思，以水文地质模型为基础，把水量模型、水质模型和优化模型融化为一体，从而为控制石家庄市地下水降落漏斗的发展，防治地下水水质恶化，提供了切实可行的综合治理决策方案。甘肃省武威地区还采用目前不多见的多目标规划法，建立了以经济产值最大为目标的农业用水分析模型和跨流域调水模型；并就金昌地区水质管理建立了水质多目标管理模型，这对西北干旱地区条件类似的山前平原，进行水资源开发管理的研究，具有指导意义。目前许多城市如北京、西安、沈阳、新乡、平顶山等，都开展了管理模型的研究，根据不同目标与不同要求，分别建立了有以城市供水为目标的水资源管理模型，为水质控制改良和环境生态改善的管理模型，水质水量联合管理模型，水量调配和供排结合的管理模型，地表水、地下水联合调度模型，以及全流域为工农业生活用水优化分配的规划管理模型等。唐山、邯郸等城市，还建立了水资源经济管理模型。

为保证提供建立模型所需要的大量水文地质信息，就必须建立相应的信息-检索系统和数据库。近年来通过对数据管理系统的研究，河南环境水文地质总站已先后开发了“河南省地下水资源数据管理系统”和“地下水均衡试验观测数据处理系统”，并都已正常运行。山西环境水文地质总站也建立了山西地下水动态数据库（GWD）管理系统，不仅可对动态资料进行输入、修改、查询、统计、打印报表、绘制图形，而且具有多种数量处理功能。许多城市如秦皇岛、石家庄、新乡等，也都分别建立了数据库与数据管理系统。

在信息系统研究的基础上，国内正在计划开展关于城市水资源环境管理专家决策系统的研究。专家系统是人工智能研究领域中的一个重要研究方向，通过对信息数据库、知识库、推理解释系统和知识获取的研究，可以建立通用的城市水资源-环境管理专家决策系统，从而将水资源-环境管理这一复杂系统工程微机化、自动化，为城市水资源业务管理部门提供操作方便的技术工具，不仅可对水资源状态进行实时分析、过程模拟和信息输出，还可对水资源管理实现最佳决策选择。所以开发专家决策系统，是水文地质工作者今后一项重要任务，也是缓解城市水资源供需矛盾的一项不可缺少的战略措施。

综上所述，地下水资源的研究范畴日益扩大，从地下水资源的定义、分类，到地下水系统的研究，发展到地下水系统与自然环境系统和社会经济系统相互关系的研究；从概念模型、数学模型，发展到管理模型的研究；从信息系统发展到专家决策系统的研究；从水资源管理发展到水资源保护的研究，等等。所以地下水资源的研究，已逐渐形成一门分支学科，可以称之为“水资源水文地质学”。

六、结论与展望

现代科学发展的重要特征之一，是向高度分化和高度综合平行并进。水文地质学作为应用地质科学中一门独立学科，其发展过程，同样遵循这一规律。50~60年代作为水文地质学的开创时期，主要内容仅包括普通水文地质学，专门水文地质学，地下水动力学，水文地球化学，以及矿床水文地质学等基本课程。这一早期发展阶段的水文地质学，可以概括的称为“传统水文地质学”。

70~80年代，随着国民经济的迅速发展和国际学术交流与科技合作的日益频繁，新理论、新技术不断输入，特别是受系统论和系统工程等学术思潮的影响，水文地质学的研究内容，也突破传统的研究范畴，发生了巨大演变，新的分支学科如雨后春笋。例如普通水文地质学逐