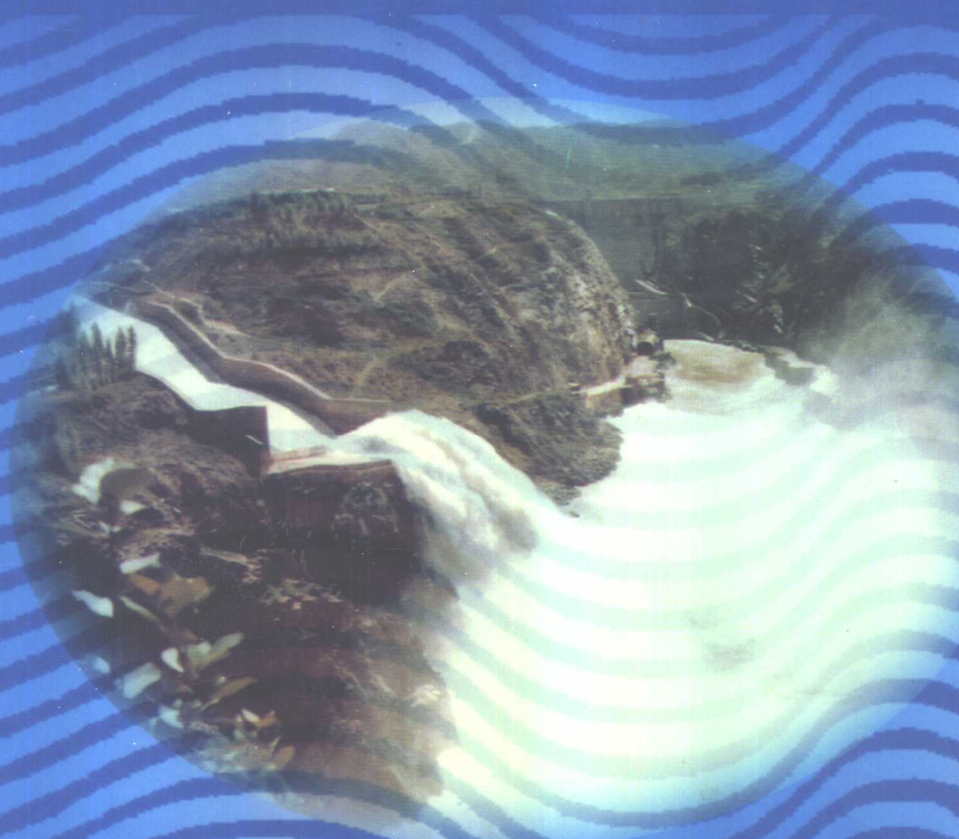


水工环研究的现状与趋势

张永波 等著



地质出版社



水工环研究的现状与趋势

张永波 等著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书详细阐述了水文地质、工程地质、环境地质领域的研究现状与发展趋势,为读者更好地了解水工环领域研究的现状、正确把握未来的发展趋势、奠定新一轮国土资源大调查和科研立项的基础,提供了重要的理论依据。全书始终贯穿“水工环领域研究现状与发展趋势”这一主题,内容共分三部分:第一部分为现状与趋势综述,分别阐述了水工环三个学科的研究现状、最新进展与发展趋势,体现了整体性、综合性和系统性,奠定了水工环研究现状和发展趋势的整体框架。第二部分为现状与趋势各论,详细阐述了水工环领域不同研究方向的研究现状与发展趋势,对进一步开展相关领域的科研工作具有重要的指导意义。第三部分为水工环技术方法,从GIS技术、物探技术、遥感技术、测试技术等四个方面,探讨了它们在水工环领域应用的情况,并进一步分析了水工环领域技术方法的应用前景和发展趋势。

本书适用于所有与水工环领域科学研究有关的研究人员与管理者,同时也可作为大中专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水工环研究的现状与趋势/张永波等著.-北京:地质出版社,2001.3
ISBN 7-116-03274-6

I. 水… II. 张… III. ①水文地质学-研究-概况②工程地质-研究-概况③环境地质学-研究-概况
IV. ①P64②X141

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第59498号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路29号)

责任编辑:杨友爱

责任校对:关风云

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:16 字数:370000

2001年3月北京第一版·2001年3月北京第一次印刷

印数:1—1000册 定价:38.00元

ISBN 7-116-03274-6
P·2159

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

水文地质、工程地质、环境地质（简称“水工环”）是地学研究领域的重要组成部分，在研究内容上主要包括：水文地质学研究“地下水的起源、形成、运动、分布规律及其开发利用”；工程地质学研究“岩土工程地质性质、工程动力地质作用、工程地质勘察理论和技术方法、区域工程地质和环境工程地质”；环境地质学则研究“地质灾害与环境地质问题、全球变化、医学环境地质和生态环境地质等方面”。所有这些研究工作的众多方面，和人类生活息息相关，使水工环研究工作担负着“改造人类生存环境、提高人类生活质量”的艰巨任务。

为了更好地了解“水工环”领域研究现状，正确把握未来的发展趋势，奠定新一轮国土资源大调查和科研立项的基础，中国地质调查局适时提出了“编写水工环国内外研究现状与发展趋势”的工作要求，并组织立项实施。中国地质科学院水文地质环境地质研究所作为承担单位，组织有关专家开展工作。项目实施的基本思路是组织从事第一线科研工作的中青年专家完成具体稿件的撰写工作，聘请具有丰富工作经验的老专家进行审查。这样，在完成项目任务的同时，使这些中青年专家得到指导和帮助，使稿件的质量和水平得到保证。

本书在内容上始终贯穿“水工环领域研究现状和发展趋势”这一主题思路，在内容上划分为三部分。第一部分为现状与趋势综述，分别阐述了水文地质、工程地质、环境地质三个学科的研究现状、最新进展和发展趋势，体现了整体性、综合性和系统性，奠定了水工环研究现状和发展趋势的整体框架。第二部分为现状与趋势各论，详细阐述了水工环领域不同研究方向的研究现状与发展趋势，主要包括地下水的形成与演化、地下水管理模式、地下水勘查评价与保护、水环境污染与治理、地热能开发利用、岩土工程技术、地质生态、水文地球化学、农业生态地质、地质灾害、城市地质、矿山环境保护、城市垃圾的填埋技术、水工环地质调查、全球变化等方面，对进一步开展相关领域的科研工作具有重要的指导意义。第三部分为水工环技术方法，从 GIS 技术、物探技术、遥感技术、测试技术等四个方面，在阐述这些技术本身发展现状的基础上，重点探讨了其在水工环领域应用的现状情况，并进一步分析了水工环领域技术方法应用前景和发展趋势。

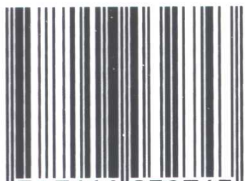
本项科研成果是众多科研工作者集体智慧的结晶。中国地质科学院水文地质环境地质研究所作为项目承担的主体单位，组织了国土资源部信息中心、中国地质大学、天津城市建设学院等单位的 38 位专家、博士硕士研究生参加了稿件的撰写工作。本书统稿工作由张永波、阎世骏共同完成，参加编写的人员有：张永波、阎世骏（前言），周训、万力（第一章），李智毅（第二章），刘树臣（第三章），张光辉（第四章），邵景力、崔亚莉、李慈君（第五章），张丽君（第六章），郭贵平、赵立军（第七章），王贵玲（第八章），孙进忠（第九章），石建省、侯宏冰（第十章），叶思源、孙继朝（第十一章），侯春堂、邵时雄、李瑞敏、冯翠娥（第十二章），李向全（第十三章），韩文峰（第十四章），张发旺、

韩占涛、侯新伟（第十五章），刘长礼（第十六章），程彦培、徐建明（第十七章），郭盛乔（第十八章），张永波、张礼中、周小元（第十九章），何雪洲（第二十章），王宇（第二十一章），刘效颖（第二十二章）。

特别感谢许多著名专家对本书的出版给予的支持和帮助。张宗祜院士、卢耀如院士、沈照理教授、段永侯教授等老一辈水工环领域专家对本书的初稿进行了审阅，提出了许多宝贵的意见。

编写水工环研究现状与发展趋势是一件难度相当大的工作，限于作者的时间和水平，文中肯定尚存在有许多不当之处，恳请有关单位和个人提出宝贵意见，以便作进一步的改进，为共同发扬光大我们的水工环事业作出贡献。

ISBN 7-116-03274-6



9 787116 032743 >

ISBN 7-116-03274-6

P·2159 定价: 38.00元



目 录

前 言

现状与趋势综述

第一章 水文地质工作的主要进展与发展趋势	3
第一节 水文地质工作的主要进展	3
第二节 水文地质工作的发展趋势	8
第二章 工程地质研究的现状与未来	10
第一节 工程地质学的涵意和发展简史	10
第二节 国际工程地质的研究现状	11
第三节 我国工程地质的研究现状	12
第四节 工程地质学的未来	15
第三章 国外环境地质工作的主要进展与趋势	18
第一节 环境地质工作的战略地位	18
第二节 环境地质工作的主要进展与趋势	19

现状与趋势各论

第四章 地下水形成、演化研究的过去与未来	31
第一节 地下水形成与演化属性特征	31
第二节 国内外研究现状	32
第三节 发展趋势	41
第五章 地下水管理模型研究及其展望	44
第一节 地下水系统	44
第二节 地下水管理和模型	46
第三节 地下水管理模型发展历史及存在问题	49
第四节 研究现状及发展趋势	51
第五节 结 语	54
第六章 国外地下水勘查评价与保护利用	55
第一节 干旱和半干旱区地下水资源勘查评价与开发利用	55
第二节 地下资源的区域保护	57
第三节 地下资源管理战略的最新动向	59
第四节 水模拟技术和水资源决策支持系统 (DSS)	62
第七章 我国水环境污染治理现状及新进展	63
第一节 我国水环境污染状况	63
第二节 水污染治理现状	65

第三节	水环境污染治理新进展	70
第八章	地热能开发利用现状及利用前景分析	72
第一节	地热发电	72
第二节	地热能直接利用	73
第三节	世界范围的地热开发投资	75
第四节	地热能利用前景	76
第五节	影响我国地热事业发展的主要问题	77
第六节	结论与建议	80
第九章	我国岩土工程的理论和实践	81
第一节	岩土工程勘察	81
第二节	岩土工程设计的内容、理论和方法	88
第三节	岩土工程施工	92
第四节	岩土工程检验与监测	95
第五节	岩土工程的管理与监理	97
第十章	地质-生态学科交叉的理论原理与发展趋势	103
第一节	地质-生态学的理论基础及其研究对象	103
第二节	地质-生态学科交叉的国内外研究动态	106
第三节	地质-生态学研究存在的问题与主要发展趋势	111
第十一章	水文地球化学研究现状与进展	117
第一节	概 论	117
第二节	各应用水文地球化学学科的研究现状	117
第三节	最新进展	121
第四节	结 语	124
第十二章	我国农业生态地质研究进展与发展趋势	125
第一节	农业生态地质的发展历程	125
第二节	农业生态地质研究进展	126
第三节	农业生态地质研究任重道远	129
第十三章	我国地质灾害研究现状和主要工作态势	130
第一节	我国地质灾害发育的基本特点	130
第二节	地质灾害研究新进展	132
第三节	当今地质灾害研究的重点与发展趋势	133
第十四章	城市地质与城市可持续发展	135
第一节	城市与城市地质工作特点	135
第二节	城市地质与城市地质工作	136
第三节	城市可持续发展与城市地质工作	140
第十五章	矿山环境的研究现状与发展趋势	142
第一节	概 述	142
第二节	矿山环境污染治理的现状与趋势	143
第三节	矿山开发中的环境地质问题的研究	145

第四节	我国矿山土地复垦研究现状与发展趋势	152
第五节	矿山环境质量评价与地质生态环境保护	154
第十六章	城市垃圾地质填埋技术的研究现状与发展趋势	158
第一节	城市垃圾地质填埋的理论和方法的现状与发展趋势	158
第二节	城市垃圾地质填埋技术的现状与发展趋势	162
第十七章	水工环地质调查现状与趋势	164
第一节	我国水工环地质调查现状分析	164
第二节	国外水工环地质调查现状	165
第三节	国际水工环地质调查的几个重要领域	168
第四节	水文地质、工程地质和环境地质调查的发展趋势	171
第十八章	全球环境变化及其研究现状与发展趋势	173

水工环技术方法

第十九章	地理信息系统在水工环工作中应用的现状与发展趋势	179
第一节	地理信息系统的发展现状与趋势	179
第二节	GIS技术在水工环中的应用现状	181
第三节	GIS技术在水工环中应用的发展趋势	191
第四节	结合国情发展我国的水工环信息化工程建设	193
第二十章	近十年来水工环物探技术应用与发展	196
第一节	地震勘探	196
第二节	电法	202
第三节	探地雷达 (GPR)	205
第四节	核磁共振 (NMR) 技术找水	208
第五节	重力和磁法	209
第六节	地球物理计算机层析成像 (CT) 技术	211
第七节	水工环物探技术的发展前景	212
第二十一章	遥感技术在水文地质工程地质和环境地质中的应用	214
第一节	遥感信息与水工环中的应用	214
第二节	国内外在水工环领域中遥感技术的应用	216
第三节	遥感技术应用前景展望	221
第二十二章	水质测试技术的现状与发展趋势	222
第一节	水质测试技术方法的现状	222
第二节	水质测试技术的发展趋势	226
参考文献		228

现状与趋势综述

第一章 水文地质工作的主要进展与发展趋势

第一节 水文地质工作的主要进展

在最近几十年里,水文地质学发展迅速。水文地质工作涉及的内容十分广泛,从如何寻找地下水和提供供水水源,到评价地下水资源(数量和质量)和如何合理利用地下水资源,再到开采利用地下水资源引起的环境地质问题,亦即从研究地下水系统与自然环境的相互关系,扩大到研究地下水系统与社会经济系统的关系。从基本概念和基本理论,到模型与模拟研究,再到成果展示的数字化,使水文地质工作从定性分析发展到定量研究的新阶段。野外探测和室内测试技术的提高,现代科学的新理论与水文地质学的结合以及新技术、新方法在水文地质领域的应用,都极大地促进了水文地质学的发展。以下从8个方面概括水文地质工作的主要进展。

一、找水与供水

早在1980年以前,在全国开展了水文地质普查,完成普查面积约820万 km^2 ,取得了基础性资料,为国家规划建设和有关工业部门所利用。还累计完成了近130万 km^2 面积的农牧区供水水文地质勘查,为农田水利规划,指导井灌区打井扩大灌溉面积,进行盐碱地改良和冷浸田治理,提供了科学依据。

自20世纪70年代末80年代初,我国转入重点经济发展区的水文地质调查研究工作,如黄淮海平原、济徐淮地区、长江三角洲、东北经济区、京津唐地区、西北能源基地等,取得了许多重要的研究成果。

80年代以来,还开展了多项专题性调查研究,如红层地区、玄武岩地区和黄土地区地下水的富集,以及北方岩溶地下水、典型岩溶区地下水等。

在200多个城市开展不同程度的水文地质调查工作,在80多个严重缺水城市评价出200多个地下水集中供水水源地,大大缓解了这些城市供水紧张情况。对京、津、沪等75个主要城市进行水资源预测,以及对深圳、厦门、大连、北海等沿海开放城市结合城市发展规划进行水资源论证。在有地热资源开发远景的北京、天津、福州、拉萨、漳州、湛江、昆明、郑州等10多个城市开展了地热田的勘查研究。

在长期为缺水地区进行找水的实践中,总结出一套行之有效的找水方法经验,如“新构造控水”(肖楠森)、地下水网络理论(胡海涛)、储水构造理论(刘光亚等,钱学溥等),为基岩地区找水进行了有价值的探索。

1995年以来实施了西北地区找水特别计划,先后在塔克拉玛干沙漠腹地以及极端缺水的宁夏、陕北、内蒙古的边远地区寻找到可供饮用淡水。随着国土资源部新一轮国土资

源大调查及西北找水、西南岩溶石山区找水项目的实施,对国家在水资源匮乏的西部地区的大开发有着特别重要的意义。

二、地下水资源评价

在水文地质调查工作的基础上,以北京、陕北、豫东、吉林中西部、河西走廊等地不同类型地下水为重点,初步总结了大面积地下水资源的评价方法。①对于超量开采的城市北京市,分区预测计算了全区降水、河流和地下水资源总量,提出了以城近郊区地下水多年平均补给量来评价开采量、人工调蓄保护永定河区地下水资源等方案。②开展黄土高原农林区地下水资源评价,确认黄土孔隙—裂隙潜水和基岩裂隙承压水是典型黄土塬地区的两种主要地下水类型,对黄土这种各向异性垂直非均质的含水层,除了选择各种水文地质参数外,还应注意黄土下伏基岩裂隙的相对成层性和承压性,从而为黄土高原区地下水资源评价提出了完整模式。③结合具体水文地质条件,开展国民经济重点地区地下水资源评价。例如在吉林省及松嫩平原,充分考虑了多层越流补给的特点,使评价结果更接近实际状况。在河南商丘,重点考虑了包气带和水位变幅带的岩性结构,改进了以往降水入渗系数、潜水水位变动带疏干给水度以及潜水蒸发极限深度的确定方法。在河西走廊建立了大流域(6000 km²)地下水数值模拟模型,在深入分析各种水文盆地含水层系的分布状况和地下水补径排条件及过程后,圈定出可供开发利用的含水层面积。④开展华北地区水资源评价和开发利用研究,评价出区内水资源总量为419亿 m³/a,可利用量为310亿 m³/a,另有矿化度2~3g/L的微咸水和浅层承压水53亿 m³/a,其中京津唐地区水资源总量为112.83亿 m³/a,经优化模型计算,若重新节配可利用的水资源,可节水5亿 m³/a。⑤还开展了特殊类型地下水资源评价,例如,已评价出四川盆地深层地下卤水的可采资源量为9.83亿 m³、剩余可采资源量为7.62亿 m³;天津市地下热水静储量为584.41亿 m³,可采量为8.25亿 m³。

自建国以来已查明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 5×10^4 m³/d以上)494处,中型水源地(允许开采量 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ m³/d)519处,小型水源地230处;按含水介质类型划分,孔隙水类型846处(68%),岩溶水315处(25%),裂隙水82处(7%)。

在地下水资源的特点和分类方面,笔者认为地下水资源具有系统性、流动性、可恢复性和调节性等特点。这是因为地下水在一定的范围内分布,可以在含水层中流动,而且可以获得周期性补给,当补给充沛时可以恢复其原有水量,地下水的储量在补径排及开采过程中起到调节作用。从而有别于固体矿产资源及石油、天然气等流体矿产资源。地下水资源分类有多种方案,如分为天然资源和开采资源,分为补给量、储量和消耗量,分为补给资源和储存资源,等等。最近有一种分类方案在总结以往地下水资源各种分类的基础上,认为从地下水资源构成的角度可以分为补给资源和储存资源,从开采的角度可以划分为允许开采资源和尚难利用资源。在地下水资源评价中,实际需要计算的地下水量有补给量、储量和允许开采量。

三、地下水资源管理

20世纪80年代以来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,即研究在掌握地下水资源分布和数量的基础上,如何合理开发利用和保护地下水资源,使之处于对人类生活和生产最有利状态,以获得最大的经济、社会和环境效益。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,通过地下水流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。地下水资源管理的研究进展迅速,从管理模型的类型来看,有集中参数模型、分布参数模型、水量管理模型、水质管理模型、经济模型和上述几种模型的联合模型,有单目标规划模型和多目标规划模型,有单一的地下水管理模型或地表水管理模型,也有地表水和地下水联合管理模型等。从管理内容来看,已从过去一般性的水政策、水均衡管理发展到地下水动态和水资源(包括水量和水质)管理,地表水和地下水联合运转管理,控制地质灾害的土地利用和地下水动态控制管理,以及综合考虑防止、控制和改善因水资源开发利用而产生的生态环境副作用和经济技术约束条件的多层次、多目标管理。有关地下水资源管理的理论已趋于成熟。

我国开展地下水资源管理的研究起步稍晚,但发展十分迅速,出现了一大批针对不同地区、不同管理问题的地下水资源管理研究成果。如石家庄市地下水资源管理模型,是按照系统化、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为一体,从而为控制石家庄市地下水降落漏斗的发展和防治水质恶化提供了切实可行的综合治理决策方案。对甘肃武威地区采用多目标规划法,建立了以经济产值为最大的目标的农业用水分析模型和跨流域调水模型。对新乡、平顶山、北京、西安、沈阳、唐山、邯郸、北海等城市,根据不同目标与不同要求,分别建立了以城市供水为目标的水资源管理模型或水质水量联合模型、地表水和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,取得了重要的研究成果。

四、地下水资源开发引起的环境问题

70年代以来,由于城市的迅速发展,城市供水量的日益增加,因过量开采地下水产生的环境地质问题(或负环境效应、或地质灾害),如水量枯竭(表现为地下水位持续下降、大泉流量日减等),地面变形(如地面沉降、岩溶塌陷、地裂缝等)、水质恶化(如海水入侵等)以及生态环境恶化等,引起人们广泛的重视,促进了水文地质学的发展,成为环境水文地质工作中的重要内容。在我国,许多城市开展了地质灾害勘查工作,在分析地质灾害的形成机制的基础上,通过地下水管理模型的研究,对地下水过量开采问题,提出了调整开采布局或人工补给等措施,防止或治理地质灾害。

在上海、天津、西安、苏州、无锡、常州等城市先后开展地面沉降的研究,取得了程度不同的进展。如上海市的地面沉降,自60年代起就开始研究,基本查明了地面沉降的机理,并采取了人工回灌等综合治理措施,到70年代后基本得到了控制,80年代以来,又在准三维地下水流模型的基础上,加上描述地面沉降的一维模型,通过数值模拟计算,预测开采量与回灌量不同的比值下,可能发生的沉降量。从而使地面沉降的研究从定性化走向定量化。

在我国无论是在北方还是在南方,对岩溶塌陷都进行了深入的研究,对岩溶塌陷的类型、特征、形成条件与形成机制进行了系统的分析和总结,提出了具体的防治措施,个别研究者还对岩溶塌陷的预测进行了尝试性研究。

沿海地区海水入侵问题，在辽宁的大连、山东的莱州、龙口、烟台和青岛以及广西的北海等地开展了详细的勘查研究。描述海水入侵的数学模型从过去提出的咸、淡水之间的突变界面模型发展到过渡带溶质弥散模型，由二维模型到三维模型，由不考虑密度变化的模型到考虑过渡带水的密度变化的模型，趋于完善。在治理对策方面，提出了调整开采量、人工回灌、设置隔水帷幕等措施，除了调整滨海含水层地下水的开采量外，其它治理措施在国内付诸实践的并不多见。

此外，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。例如西安市出现多条雁行排列的地裂缝，对城市建筑造成严重危害。经长期深入研究，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。

为控制地面沉降或调蓄储能、增加地下水的补给，在天津、上海、北京、山东烟台等地开展了人工回灌工作或相关的试验研究，探讨了人工回灌渗入机制并总结了不同水文地质条件下的回灌经验、以及控制地面沉降或调蓄储能的效果。

五、基本概念与基础理论

自从 20 世纪 60 年代 Toth 提出区域地下水流动理论以来，特别是系统的观点对科学和技术的各个领域的渗透，不少水文地质学家都试图用系统的理论来研究水文地质问题，相继提出“地下水水文系统”、“含水层系统”、“地下水系统”、“地下水流动系统”和“水文地质系统”等概念，对水文地质学的发展产生了极大的影响。但是，由于不同学者所持的观点和角度不同，对概念的定义和理解亦不尽相同。较多的学者认为，地下水的赋存、分布、运动和演化具有系统性，“地下水系统”一词被更多的学者提及。地下水系统包含“地下水含水系统”和“地下水流动系统”，前者指由含水层和隔水或相对隔水岩层组成的具有统一水力联系的含水岩系，后者指由源到汇的流面群构成的具有统一时空演变过程的地下水体。它们都具有整体性、层次性等特性。目前在理论和方法上迅速发展的是地下水流动系统理论。Toth 等人着重研究大的空间与时间尺度的地下水流动系统，并将其主要用到预测油气藏的分布。Toth 还提出“重力穿层流动”的概念，将流动系统理论推广到非均质介质场。

伴随基岩地区找水和大面积地下水资源评价工作，一些基础研究得到了重视。例如，田开铭依据野外现象推论并经实验证明，裂隙水交叉流有三个重要的水力特性：在交叉裂隙中，一个裂缝中的水流过交叉时全部或部分向另一个裂缝中折流；在两个方向上的水流阻力效应不等；进水量与泄水量不等，即出现偏流现象。在此基础上推导出基岩地区地下水的网络偏流和条件偏流等基本模式。又例如，在包气带水特性的研究方面，①认为温度对土壤水运动的影响，取决于土壤表面边界条件类型；当土壤表面为压力水头边界时，温度对土壤水运动有十分明显的影响。②滞后作用主要是改变土壤含水量的分布；当吸水和脱水循环发生时，滞后作用对土壤水运动的影响显著。③零通量法、中子测量法及 WM—I 负压计的研究，以及在三水转化过程中的岩土水热梯度特征、非饱和渗透系数和持水曲线的规律性探讨等方面的应用，使土壤包气带的理论研究达到更高的层次。

其它学科领域的一些新理论，如灰色系统理论、地质统计学和分形理论等，被推广应用到水文地质研究中。地下水系统是一种包含部分不确定信息的灰色系统。灰色系统可以用灰色参数、灰色方程与灰色矩阵等来描述。灰色系统可控制在灰域即一定的上下限之

内。地质统计学充分考虑到在一定空间中的地质变量具有空间相关性，即认为这类随机变量具有空间结构性，因此，能够有效地利用经典统计学所丢失的信息，对地质变量作出更为精确的评估。例如，对于空间分布稀疏但是观测时间系列长的水文地质变量（如地下水位），不但要利用资料的空间结构性，还应充分利用其时间结构性，应用空间—时间克立格法绘制水位等值线图，图件质量明显提高。灰色系统理论和地质统计学都体现了确定性与随机性的结合。它们的引入和应用，产生了一系列水文地质学应用新理论。

六、模型与模拟

自 20 世纪 50、60 年代以来，特别是自 70 年代以来，由于应用数学和地下水动力学的相互渗透，尤其是电算技术的推广和应用，极大地丰富和突破了传统水文地质学的内容，使地下水的定量研究发展到新的阶段。地下水计算的基本理论，从稳定流发展到非稳定流，从二维流发展到三维流，从解析法发展到数值解，有限单元法和有限差分法在地下水资源评价计算中得到广泛应用，通过模拟计算进行模型识别，并进行预报，解决了各种条件下的水文地质计算问题。与地下水模拟计算相关的计算机软件日臻完善，Modflow 是近年来国际上流行的模拟软件之一，并由 DOS 版本发展到 WINDOWS 下的版本，具有可视界面及强大的计算、处理和展示功能，且易于操作，所以被广泛应用。

在地下水资源计算和动态分析预测中用到各种模型，诸如确定性模型与随机性模型、集中参数模型与分布参数模型、线性模型与非线性模型、单一模型与耦合模型等。不同地区根据具体的水文地质条件建立相应的模型，如河南商丘在人工调蓄条件下，建立的多年均衡法与有限元结合的数学模型；甘肃石羊河流域根据地下水动态演变规律，应用不规则有限差分法建立的数学模型，黄土层饱和与非饱和地下水的联合数学模型；干旱半干旱地区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和以反常水位效应为基础的数学模型。此外还有一些专门模型，如选择放射性废物处理场地的水渗流模型、垃圾填埋场和地表蓄水池污染物迁移模型等。

七、新技术、新方法的应用

勘测、测试及计算机技术在最近几十年里发展很快，它们在水文地质调查研究中得到了广泛的应用，极大地提高了水文地质工作研究的效率和所获取资料的质量，也为认识和解释一些水文地质问题提供了更坚实的基础。

在物探方法方面，在电法测试的基础上，开展了浅层高分辨率地震、声波、综合电磁、声频大地电场、激发极化、甚低频、静电 α 卡、综合测井、放射性低能谱测量、空间无线电波透视和超声成像等多种方法。例如，用浅层地震法确定地下岩溶的发育地段及划分第四系地层，用 ESP 型地质雷达系统了解松散层的结构和层次及浅层基岩的裂隙和洞穴发育情况，以磁法为主辅以电剖面法、浅层测温和 α 卡法指导打热水井，利用声频大地电场法、激电法和综合磁法找水，均取得良好效果。

在遥感方面，航空红外成像和扫描等技术的应用水平得到了提高，使图像的信息更加丰富，有利于遥感图像的解释。遥感方法在寻找地下水和地下热水、探测古河道、填制水质图等方面，均取得了良好的效果。近年来，在常规目视解释的基础上，进一步开发了多片种、多波段和多时相的综合解释技术，向多元数据复合、动态监测、趋势预报和计算机

定量分析方向发展,取得了许多有实用价值的遥感地质解释结果。

通过研究地下水的同位素组分,结合水文地质条件和其它方法,可以确定地下水的成因、年龄、径流途径和补排关系等,为地下水资源评价和合理开采地下水、防治地下水的危害,提供了科学依据。根据 δD 和 $\delta^{18}O$ 多年监测资料已求得中国大气降水线的直线方程为 $\delta D = 7.7\delta^{18}O + 7.5$, 建立了中国大气降水氢氧稳定同位素数据库,并汇入 IAEA 的全球大气降水氢氧稳定同位素数据库。

地理信息系统 (GIS) 是近年来发展起来的新技术,并迅速在水文地质领域中得到应用。一个研究区的水文地质空间信息可以划分为多个单独的信息层,可以分层提取空间数据(如水系、富水性分区、断裂构造、控制性井孔、地下水开采量、水化学成分等)。GIS 将不同层的信息经逻辑匹配联系起来,生成新的图层,输出新的信息。目前,基于 GIS 的水资源信息管理系统软件正在开发,为水文地质信息的数字化、图形化提供了便利条件。

八、水文地质信息系统和成果展示

为了保证提供建立数学模型所需要的大量水文地质信息,如有效地利用水文地质资料,有必要建立相应的信息检索系统和数据库。地质矿产信息系统是国家经济信息系统的一个分系统,其中有“矿产储量数据库”和“地下水资源数据库”。全国一些地区也都建立了相关数据库。通过对数据管理系统的研究,河南环境水文地质总站近年来开发了“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”。山西环境水文地质总站开发了“山西地下水动态数据库管理系统”。秦皇岛、石家庄、新乡等,也都分别建立了数据库与数据库管理系统。它们都具有对资料进行输入、更改、查询、统计、打印、绘图等多种处理功能。

在信息系统研究的基础上,还开展了城市水资源管理专家决策系统的研究,通过对信息数据库、知识库、推理解释系统的研究,可以建立通用的城市水资源环境管理专家系统,从而将水资源环境管理这一复杂系统工程微机化、自动化,对水资源状态进行实时分析、过程模拟和信息输出,实现最佳决策选择。

在成果展示方面,在水文地质普查资料和地下水资源评价的基础上,我国各种比例尺水文地质图编图工作迅速发展,并创建了一套具有本国特色的水文地质编图方法,编制出版了许多全国、省市或按地区编制的图幅、图系或图集,其中 1978 年出版的《中国水文地质图集》基本上系统反映了我国从 50 年代以来区域水文地质工作的成果。随后编制《亚洲水文地质图》(1:800 万),以及专项内容的图件,如《中国温泉分布图》(1:600 万),《北方典型遥感水文地质图像集》和《中国岩溶地区典型遥感水文地质图像集》。近年来,水文地质研究成果的数字化进展迅速,各种图件均可通过计算机(多媒体)展示。

第二节 水文地质工作的发展趋势

水文地质工作与国民经济建设密切相关。我国经济建设在 21 世纪进入高速度发展时期,经济建设与水资源及环境的矛盾日趋严重。随着基础理论的发展、新技术在水文地质中的应用以及个学科之间的相互渗透,也给地下水的研究开展显示了新的局面。水文地质工作在 21 世纪面临新的机遇和挑战。以下几方面可能将是人们重点关注的研究领域或课