

中国地下水科学的 机遇与挑战

中国地下水科学战略研究小组 著



科学出版社

www.sciencep.com

中国地下水科学的机遇与挑战

中国地下水科学战略研究小组 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是在国家自然科学基金委员会和中国地质调查局的资助下,由国内外 12 位知名的地下水专家组成的“中国地下水科学战略研究小组”经过近三年的努力完成的。本书总结了我国地下水科学的研究现状,介绍了当前国际地下水科学研究的前沿问题,并结合中国的实际情况,探讨了我国地下水科学的优先研究领域。针对我国地下水科学的科研、教育和数据共享等方面存在的问题,本书提出了一系列策略和具体的建议,将有助于国外水文地质学的先进理论方法与我国地下水实际问题的结合,从而促进我国地下水科学的进一步发展。

本书可供地下水水文学、地质学、环境科学及地球化学等相关专业的本科生、研究生、高校教师、科研工作者及生产人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国地下水科学的机遇与挑战/中国地下水科学战略研究小组著. —北京:科学出版社, 2009

ISBN 978-7-03-024540-3

I. 中… II. 中… III. 地下水资源-研究-中国 IV. P641.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 068702 号

责任编辑:胡晓春 韦 沁/责任校对:陈玉凤

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

*

2009 年 5 月第 一 版 开本: B5(787×1092)

2009 年 5 月第一次印刷 印张: 13 3/4

印数: 1—2 000 字数: 252 000

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

中国地下水科学战略研究小组

负责人

郑春苗	University of Alabama, USA; 北京大学
万 力	中国地质大学(北京)

成 员(以姓氏笔画排列)

王焰新	中国地质大学(武汉)
冯夏红	Dartmouth College, USA
任 理	中国农业大学
李广贺	清华大学
李文鹏	中国地质环境监测院
吴吉春	南京大学
张仁铎	中山大学; 原 University of Wyoming, USA
张幼宽	University of Iowa, USA
葛社民	University of Colorado, USA
董海良	Miami University, USA

序 一

进入 21 世纪以来,科技进步和创新愈益成为经济社会发展的首要推动力量,成为各个国家综合国力竞争的核心和焦点。如何紧紧抓住本世纪头 20 年我国科学技术发展的重要战略机遇期,提高自主创新能力,建设创新型国家,为国民经济和社会发展提供坚实的科学基础和有力的技术支撑,已成为我国国家发展战略的核心和提高综合国力的关键。

基础研究在建设创新型国家中具有重要的地位和作用。基础研究的发展受科学系统不断拓展深化的内部需求和经济社会发展的外在需要的“双力驱动”,是提升自主创新能力的重要途径,是高新技术发展的重要源泉,同时也是未来科学和技术发展的内在动力。作为管理自然科学基金、资助基础研究的国家自然科学基金委员会,将一如既往地使科学基金工作紧紧围绕自主创新战略,为繁荣科学事业、提升自主创新能力以及建设创新型国家做出贡献。

要提升自主创新能力和国际竞争力,就要求我们在国际视野下,把握科学前沿问题和发展趋势,结合国家战略的重大需求,制订科学发展阶段性战略规划,充分发挥科学基金的导向作用,力争在若干重要领域取得突破。在过去的几年中,根据国家自然科学基金委员会的统一部署,各个学部进行了学科调研,并在此基础上陆续提出了各个学部的科学发展战略。《中国地下水科学的机遇与挑战》一书是在《地球科学“十一五”发展战略》的基础上,就“中国地下水科学的机遇与挑战”问题进行的专门研究的成果,是地球

科学领域地下水科学发展战略调研的延伸和深化。

众所周知,水是人类社会赖以生存和可持续发展的不可或缺的重要物质基础,水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源。我国是一个水资源极度贫乏的国家,人均水资源占有量仅为世界平均水平的四分之一,水资源在空间和时间分布上也极不均匀。水资源紧缺、水环境和生态环境恶化已严重制约了我国经济社会的全面、健康发展。随着我国人口的增加和经济社会的发展,水资源紧缺的形势将更加严峻。国家已把促进能源、水资源和环境保护等科学技术的发展放在优先位置,下决心解决这个制约经济社会发展的重大瓶颈问题。

地下水是水循环的一个环节,是水资源的重要组成部分。我国约三分之一的城市将地下水作为主要的供水水源;在广大的干旱-半干旱地区,地下水也往往是主要的供水水源,有时甚至是唯一的供水水源。在我国许多地区,地下水不合理的开采加剧了水资源短缺,并引发了一系列环境问题,例如地面沉降、海水入侵、土地沙漠化和荒漠化;人类活动造成地下水污染,并限制了水的可利用性。因此,深入研究自然条件和人类活动影响下包括地下水在内的水循环和水资源数量、质量的变化规律,实现水资源优化配置与高效综合利用,保障水环境和生态环境安全,以水资源的可持续利用支持经济社会的可持续发展,已成为建设资源节约型、环境友好型社会十分迫切的任务。

我国经济社会的发展,为地下水科学发展提供了机遇,也带来了重大挑战。准确把握国际地下水科学的发展前沿和发展趋势,结合我国地下水研究和利用的实际情况,深入分析和凝练既反映科学前沿,又满足我国重大需求的地下水优先研究领域和关键科学问题,对于推动我国地下水科学创新性发展具有十分重要的意义。

地下水不仅是水循环的一部分,也是整个地球物质不可分割的组成部分,并且与人类活动密切相关,这些特点决定了地下水研究必须采用多学科交叉的方法,必须采用理论联系实际的方法。

《中国地下水科学的机遇与挑战》一书是在国家自然科学基金委员会地球科学部进行的地球科学发展战略调研的基础上,由地球科学部和中国地质调查局水文地质环境地质部共同组织国内外相关研究领域的 12 名专家,通过进一步的讨论和研究形成的,送审稿广泛征求了国内外相关专家的意见和建议。我希望《中国地下水科学的机遇与挑战》在推动我国地下水科学的发展中发挥积极的作用。

陈宜瑜

国家自然科学基金委员会主任

2008 年 4 月 14 日

序 二

资源和环境是当今社会普遍关注的重大战略问题,也是地质工作服务社会的主要领域。目前,我国正处在全面建设小康社会的关键时期,工业化、城镇化进程加快,资源与环境成为制约经济社会发展的重要瓶颈。有效解决能源、原材料供应和水资源、环境与灾害等重大问题,为全面建设小康社会提供资源保障和地质基础支撑,是地质工作的重大历史使命。

地下水是水资源的重要组成部分。我国地下水资源约占水资源总量的三分之一。全国总供水量中约五分之一来自地下水,在北方地区地下水尤为重要。地下水合理开发利用对我国经济社会发展起着至关重要的作用。

五十多年来,我国地下水调查和科学研究始终以服务国家建设和社会需求为使命,水文地质调查研究基本满足了不同时期国民经济和社会发展的需求。在经济社会快速发展的新时期,水资源供需矛盾日益突出,地下水过量开采引发了一系列环境地质问题,全国三分之二城市地下水水质普遍下降。以科学发展观为指导,有效解决水资源与环境问题,实现水资源可持续利用,促进人与自然和谐,是新时期水文地质工作面临的重大挑战,也是重要的发展机遇。

按照中央要求,在国土资源部领导下,中国地质调查局统一部署和组织实施了国家基础性、公益性地质调查和战略性矿产勘查工作,自1999年以来,在新一轮国土资源大调查中先后组织部署

了全国地下水资源及其环境问题调查评价、全国地下水污染调查评价和地下水监测等工作,开展了大量水文地质环境地质调查与研究,获得了大量地下水科学数据,为国家综合决策和经济社会发展提供了重要的基础信息与资料。

为了进一步促进中国地下水科学的发展,提高地下水调查和监测工作水平,国家自然科学基金委员会地球科学部和中国地质调查局水文地质环境地质部共同组织国内外相关领域专家编写了《中国地下水科学的机遇与挑战》。作者在系统分析国际地下水科学研究前沿和发展趋势的基础上,结合我国地下水调查研究现状,提出了中国地下水科学研究的优先领域,并对发展我国地下水科学提出了具体建议。我相信,该书的出版对于我国地下水科学研究和地下水调查工作具有重要的参考价值。衷心感谢“中国地下水科学战略研究小组”全体成员的辛勤劳动,感谢为该书做出贡献、提出宝贵意见的所有专家和同仁。



国土资源部副部长、中国地质调查局局长

2008年5月7日

前 言

地下水资源在地球上分布极为广泛,它对许多地区的社会经济发展具有举足轻重的作用。地下水资源的不合理开发利用,会引发一系列区域性的环境问题。同时,地下水作为一种赋存于地下的流体,若处理不当,也会对相关人类活动(如采矿等),带来巨大的危害。地下水科学是研究存在于地质介质中水的运动规律及其与地质介质相互作用的学科。地下水科学的发展不仅有利于保证水资源供给、保护和改善环境、促进生态系统良性循环,而且有利于揭示人类活动与自然环境之间的相互关系。

目前,在中国社会的发展过程中存在着四方面与地下水有关的问题:一是地下水资源的过量开采使得水资源供需矛盾加剧,并引发一系列危及人类生存的环境问题;二是对人类活动产生的大量废弃物处置不当,致使地下水普遍受到不同程度的污染;三是中国广大的干旱-半干旱地区,除水资源贫乏外,地下水水质很差,从而引起许多环境问题;四是在矿产和能源资源大量开采的过程中,以及在人类大型工程建设的过程中,遭遇的灾害性地下水环境问题。这些问题向地下水科学提出了新的挑战,也为地下水科学的发展提供了前所未有的机遇。

近几十年来,美国以及其他发达国家的地下水科学研究均取得了巨大进展。无论地下水科学的理论方法,还是技术手段,均有很大的突破。如何将国外水文地质学的先进理论方法与中国地下水科学的实际问题相结合,准确把握中国地下水科学发展的脉络和趋势,促进学科的健康发展,是当前中国地下水科学界十分关注的问题。

在我国,国家自然科学基金委员会是资助地下水科学基础研究的主要部门,中国地质调查局则负责全国范围内的地下水调查和监测工作。

2005年4月,在这两个部门的共同资助下,成立了由中国和美国相关大学及科研机构12位成员组成的“中国地下水科学战略研究小组”。小组成员的科研背景和研究领域包括水文地质、水资源、水文地球化学、地质微生物、土壤物理等,充分体现了地下水科学多学科交叉的特点。2005年6月,小组成员在中国地质大学(北京)召开了首次会议,之后的三次会议分别在美国科罗拉多大学(2006年2月)、北京园山大酒店(2006年7月)和南京大学(2007年7月)召开。

在两年多的时间里,“中国地下水科学战略研究小组”撰写了这本“白皮书”。本书撰写的目的是总结中国地下水科学的研究现状,认识当前国际地下水科学研究的前沿问题,结合中国地下水科学研究中的实际问题,探讨中国地下水科学所面临的问题。针对中国地下水科学的科研、教育和数据共享等方面存在的问题,本书提出了一系列具体建议,旨在为从事地下水科学学习和研究的人员提供参考,帮助他们了解国内外地下水科学研究的现状以及发展趋势。

本书共分7章。第一章“地下水”简要叙述了地下水在水循环过程中的作用以及地下水对于人类生存的重要性。第二章“中国地下水科学的现状”从几个方面综述了中国地下水科学的发展和研究现状,指出了目前存在的主要问题。第三章“国际地下水科学研究前沿”介绍国际地下水科学的演化过程和发展趋势,概述当前国际地下水研究的一些前沿问题。第四章“地下水数据”介绍了获取地下水相关基础数据的一些新手段和新技术、以及国际上基于互联网的水文信息系统和互联网赛百结构(cyber-infrastructure)的发展情况,探讨建立和发展全国性观测联网的必要性。第五章“教育与人才培养”总结了中国地下水学科的教育体制的演化过程以及和欧美国家的差别,提出改进大学生和研究生教育的一些具体设想。第六章“优先研究领域”根据中国地下水科学的特点,结合国际地下水研究的发展趋势,提出中国地下水科学的优先研究领域。第七章“促进中国地下水科学发展的建议”在前述章节的基础上,提出加强地下水科研、教

育和数据共享的策略和具体措施。附录中列出了中国地下水研究的一些重要信息,包括政府管理机构、资助单位、高等院校、研究机构和主要重点实验室。附录中还列出了“中国地下水科学战略研究小组”成员的介绍以及对本书做出贡献的人员名单。

本项目在立项和研究过程中得到国家自然科学基金委员会地球科学部柴育成主任、姚玉鹏博士和王广才博士的大力支持。同时,中国地质调查局水文地质环境地质部殷跃平主任、武选民博士和文冬光博士对本项工作也给予了大力支持。没有他们的支持,便没有本书的出版。此外,我们的工作还得到了海内外许多同行的大力帮助,在此深表感谢。

中国地下水科学战略研究小组

2008年5月15日

目 录

序一

序二

前言

要点节选·····	3
第一章 地下水·····	21
1.1 地下水与水循环·····	21
1.2 中国地下水概况·····	24
1.3 中国地下水问题·····	27
第二章 中国地下水科学的现状·····	31
2.1 水文地质调查·····	31
2.2 区域水文地质学·····	33
2.3 水文地球化学·····	35
2.4 地下水污染·····	36
2.5 地质微生物与生物修复·····	38
2.6 生态水文地质·····	41
2.7 地下水模拟与随机方法·····	44
2.8 地下水管理模型·····	46
2.9 非饱和带水文学·····	48
2.10 存在的问题·····	51
第三章 国际地下水科学研究前沿·····	56
3.1 地下水科学的演化与趋势·····	56
3.2 区域水文地质·····	58

3.3	水文地球化学·····	64
3.4	地下水污染·····	74
3.5	地质微生物与生物修复·····	78
3.6	生态水文地质·····	86
3.7	地下水管理优化模拟·····	93
3.8	非饱和带水流与溶质运移·····	97
3.9	随机水文地质·····	105
3.10	地下水定量计算与模拟·····	110
第四章	地下水数据·····	135
4.1	地下水研究的数据需求·····	135
4.2	获取地下水数据的新技术·····	136
4.3	基于互联网的信息存储、发布和共享系统·····	142
4.4	在中国建立全国性监测联网的必要性·····	145
第五章	教育与人才培养·····	151
5.1	人才培养体系的建立·····	151
5.2	人才培养模式的特点·····	153
5.3	大学生教育·····	155
5.4	研究生教育·····	159
第六章	优先研究领域·····	160
6.1	引言·····	160
6.2	区域水文地质与地下水管理·····	160
6.3	地下水水质与水化学·····	164
6.4	地下水污染与含水层修复·····	167
6.5	地质微生物与生物修复·····	169
6.6	生态水文地质·····	170
6.7	非饱和带研究·····	172
6.8	随机水文地质·····	174

第七章 促进中国地下水科学发展的建议	177
7.1 加强科研的建议	177
7.2 加强教育的建议	180
7.3 加强基础数据共享的建议	181
附录	183
附录 A 中国有关地下水科学的政府管理机构	185
附录 B 中国有关地下水科学研究的资助单位	186
附录 C 中国有关地下水科学的高等院校	187
附录 D 美国有关地下水科学的高等院校	189
附录 E 中国有关地下水科学的主要研究机构	191
附录 F 中国有关地下水科学的主要重点实验室	193
附录 G 中国地下水科学战略研究小组成员介绍	194
附录 H 为本书做出贡献的个人和单位名单	200

Contents

Foreword I

Foreword II

Preface

Executive Summary	3
1 Groundwater	21
1.1 Groundwater and Hydrologic Cycle	21
1.2 Groundwater Occurrence in China	24
1.3 Groundwater Problems in China	27
2 State of Groundwater Science in China	31
2.1 Hydrogeological Survey	31
2.2 Regional Hydrogeology	33
2.3 Hydrogeochemistry	35
2.4 Groundwater Contamination	36
2.5 Geomicrobiology and Bioremediation	38
2.6 Ecohydrogeology	41
2.7 Groundwater Modeling and Stochastic Methods	44
2.8 Groundwater Management	46
2.9 Unsaturated Zone Hydrology	48
2.10 Remaining Issues	51
3 Frontiers of Groundwater Research	56
3.1 Evolution and Trend of Groundwater Science	56
3.2 Regional Hydrogeology	58

3.3	Hydrogeochemistry	64
3.4	Groundwater Contamination	74
3.5	Geomicrobiology and Bioremediation	78
3.6	Ecohydrogeology	86
3.7	Groundwater Management Modeling	93
3.8	Flow and Transport in the Unsaturated Zone	97
3.9	Stochastic Hydrogeology	105
3.10	Computational Methods and Modeling	110
4	Groundwater Data	135
4.1	Data Needs of Groundwater Studies	135
4.2	New Technologies for Data Acquisition	136
4.3	Internet-Based Information Systems	142
4.4	Needs for National Monitoring Networks	145
5	Education and Training	151
5.1	Establishment of Hydrogeological Education in China	151
5.2	Characteristics of Hydrogeological Education in China	153
5.3	Undergraduate Education	155
5.4	Graduate Education	159
6	Priority Research Areas	160
6.1	Introduction	160
6.2	Regional Hydrogeology and Groundwater Management	160
6.3	Groundwater Quality and Water Chemistry	164
6.4	Groundwater Contamination and Remediation	167
6.5	Geomicrobiology and Bioremediation	169
6.6	Ecohydrogeology	170
6.7	Unsaturated Zone Research	172
6.8	Stochastic Hydrogeology	174