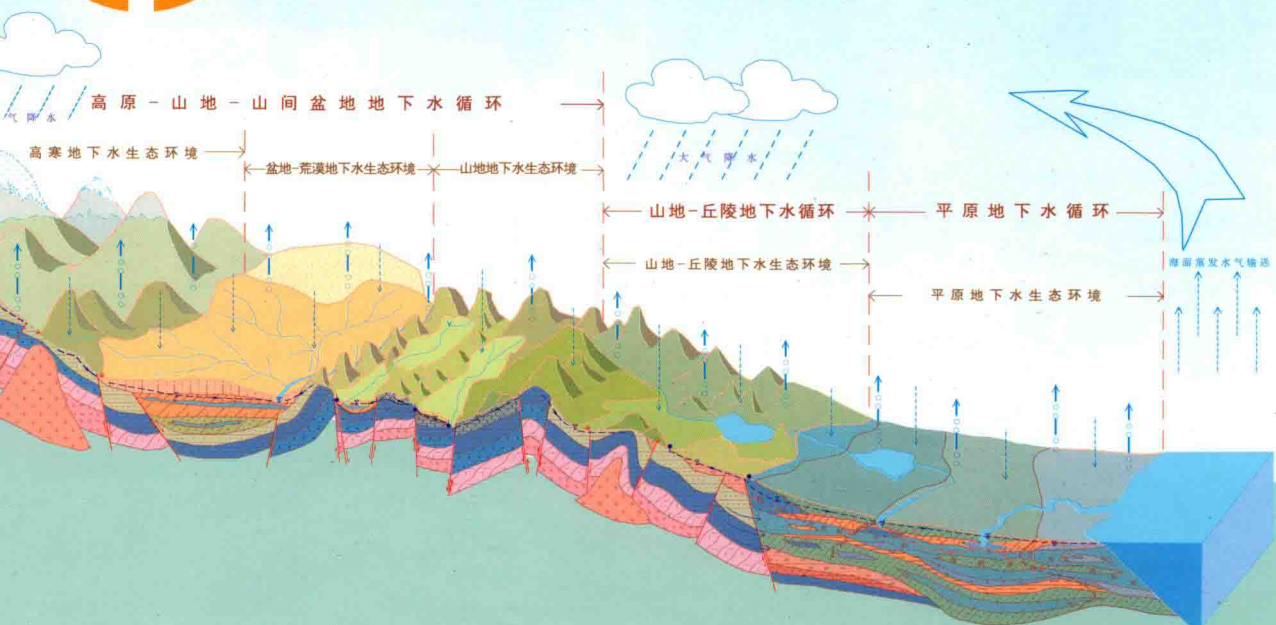




亚洲地下水与环境

张发旺 程彦培 董 华 黄志兴 等 编著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

亚洲地下水与环境

张发旺 程彦培 董 华 黄志兴等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据地下水形成与水循环理论、地下水系统理论,综合分析亚洲气候、地貌、水文、地质构造、水文地质、地下水资源与环境等要素之间的有机联系。研究气候地貌控制下的地下水形成、循环及其与生态环境关系,划分洲际尺度的地下水系统,分析归纳地下水的赋存类型、资源量、水质、地热的分布特征规律。揭示地下水环境背景、环境效应、生态环境特征和问题,提出跨界含水层和谐管理和地下水可持续利用与保护建议。

本书应用于水资源与环境保护领域,服务于绿色丝路经济建设,为亚洲各国自然资源开发利用、水资源规划与保护提供科学依据。可供从事地学、水利、环境、生态等科学研究及教学工作的相关人员参考。

审图号:GS (2019) 806 号

图书在版编目(CIP)数据

亚洲地下水与环境 / 张发旺等编著. —北京:科学出版社, 2019. 3

ISBN 978-7-03-060738-6

I. ①亚… II. ①张… III. ①地下水-水环境-亚洲 IV. ①P641.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第043206号

责任编辑:王 运 / 责任校对:张小霞

责任印制:肖 兴 / 封面设计:铭轩堂

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>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2019年3月第一次印刷 印张:14 3/4

字数:350 000

定价:198.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

主要作者名单

张发旺	程彦培	董 华	黄志兴	韩占涛
陈 立	侯宏冰	蔺文静	易 卿	盖力强
张健康	岳 晨	刘 坤	裴玉杉	邱玉玲
郭有平	高自强	徐 敏	王立兵	

第一作者简介



张发旺，男，1965年生，河北衡水人。俄罗斯外籍院士，二级研究员，博士生导师。自然资源部中国地质调查局岩溶地质研究所党委书记、常务副所长。

国家发展改革委、科技部、自然资源部、教育部、国家自然科学基金委员会专家；国际水文地质学家协会（IAH）中国国家委员会秘书长。中国地质学会、中国水利学会、中国煤炭学会常务理事，中国地质学会水文地质专业委员会、矿山水防治与利用专业委员会、岩溶地质专业委员会副主任。广西青年智库研究会副理事长。中国地质大学（北京）、同济大学、中国矿业大学（北京）、河北地质大学、广西师范大学、桂林理工大学兼职教授；中共广西壮族自治区第十届、第十一届委员会委员。

中国地质学会青年地质科技奖银锤奖获得者，国土资源部科技管理优秀奖获得者，国土资源部中国地质调查局优秀党务工作者，河北省科技十大杰出青年并荣获二等功奖励，河北省改革开放二十年优秀大学毕业生暨石家庄市青年拔尖人才。国家重点基础研究发展计划（973计划）项目首席科学家助理，国家科技支撑计划课题负责人，国家自然科学基金重点项目负责人，科技部国际科技合作重点项目负责人，国土资源大调查项目负责人，广西科技重大专项负责人，桂林科技研发重大专项首席科学家等。

主持国家级项目十多项、省部级项目数十项，获中国测绘地理信息学会优秀地图作品裴秀奖金奖1项，省部级一、二等奖以上奖励7项，中国地质调查局中国地质科学院地质科技十大进展2项，撰写学术专著9部，获国家发明专利5项，发表学术论文100多篇。

联系方式：zhangfawang@karst.ac.cn 18707737886

序 一

水资源是人类社会的永恒需求，是保障经济社会可持续发展的重要资源。为了加快全球经济一体化进程和扩展水工环地质工作服务领域，根据亚洲地形、地貌、气候、地质构造等特点，张发旺研究员领导的团队开展了中国及周边地区地下水资源与环境地质研究工作，探索了洲际尺度地下水形成与循环机理，以及地下水与环境 and 基础水文地质研究与应用的关系问题，成果服务有关国家经济社会发展，应用效果明显，受到各国政府及国际地质组织的高度重视。

《亚洲地下水与环境》的编著与出版，是中国水文地质工作者与亚洲各国同行多年研究成果的积淀，是继《亚洲地下水与环境系列图》(1:800万)出版之后，又一国际性地下水与环境研究成果。张发旺科研团队以亚洲自然资源与环境特点为基础，系统分析了亚洲气候、地貌、地质构造、地下水补给、径流、排泄，以及水岩相互作用的地带性等基础条件，揭示了亚洲地下水与环境的现状和规律。

专著给出了亚洲大陆地质构造骨架，强调构造活动带与相对稳定的地块发育了不同的地质构造类型，中生代拗陷带或断陷盆地堆积了巨厚的第四纪沉积物，新构造运动的不均匀性升降加速了造山带的强烈剥蚀和山间盆地松散沉积物的堆积。构造单元决定着不同地貌类型，加速着可溶岩类的岩溶发育进程，控制着区域水文地质条件。

专著划分了亚洲地下水类型，刻画了亚洲地下水分布特征，把亚洲划分为9大区域水文地质构造区、11个地下水系统和36个亚系统，指出洲际地下水系统是宏观尺度的大系统，并从亚洲地质构造、气候地貌、地表水系和水文地质含水层组的空间结构论证了亚洲地下水系统的集合性、关联性、目的性和整体性，以及地下水系统的边界性质与空间的整合特征。

专著对现代地下水形成与补给—径流—排泄的水循环模式做出了科学判断，建立起立体的地下水循环带及其与生态环境空间分带的对应关系，对亚洲地下水资源数量与质量做出评估。

专著揭示了亚洲地热的类型、分布和3000 m深度地温场；阐明了地下水开发过程中地质环境效应和地下水生态环境状况；指出地下水长期超采、地下水管理、地下水与生态环境、地下水与经济社会需求关系、跨界含水层（系统）和谐开发等方面存在的矛盾和问题。

专著还探索了洲际尺度地下水开发地质环境效应与生态环境的内在联系，对宏观区域多因素及性状各异的地下水环境信息，进行了分析归纳，利用时空认知的方法，做出科学的类型划分与特征规律研究，体现出作者对亚洲地下水与环境宏观特征规律的认识，并提出地下水、地热资源持续开发利用与保护和跨界含水层和谐度管理的建议，以及构建人与资源环境和谐发展的措施。

这一研究成果，可应对全球气候变化与人类活动、水环境变化、资源短缺、生态环境

恶化、地质灾害频发等世界性难题。从全球战略高度，揭示了亚洲大陆地下水环境及其时空变化规律，提出地下水环境保护对策建议，提升了亚洲地下水环境科学研究水平，为中国与亚洲各国经济协调发展、地质环境及地下水资源功能保障与环境保护等提供了科学依据，对“一带一路”沿线国家的经济社会发展具有重要的现实与历史意义。

中国科学院院士 

2019年1月30日

序 二

在承载“一带一路”建设和发展的亚洲，大部分国家和地区地下水资源开发利用程度已经不断提高，水资源的供需矛盾也日益突出显现。重大城市、农业主产区、油气田开发区、矿业开发区的地下水集中强烈开采，面临着严重的水资源短缺、地下水环境负效应日益突出等问题。

《亚洲地下水与环境》一书，是中国水文地质工作者与亚洲各国同行多年研究成果的积淀，以张发旺为代表的科研团队历经 10 年的国际合作，积累了大量国内外信息资料，做出了具有国际影响力的地下水与环境系列编图成果。该专著提出了符合亚洲实际宏观尺度的研究思想和理念，综合研究了亚洲地下水资源与环境规律，科学地分析了亚洲大陆地下水与周边洋系、地理纬度、气候水平分带和地势垂直分带的关系，对不同流域的地下水补给、径流、排泄特征进行了系统研究，阐明了亚洲地下水的形成与循环特征。运用地下水系统理论，创新性地开展了亚洲地下水系统的划分，首次按亚洲大陆的各大洋系、气候地貌、水文地质构造单元和主要河流水系做出综合分析，提出了以气候地貌为主控依据的宏观地下水系统划分准则，划分出了亚洲 11 个地下水系统和 36 个次级系统，丰富了地下水系统理论。用地下水渗流理论，揭示了含水系统的储水特征，分析了大气降水-地表水-地下水的转化关系，阐明了亚洲尺度地下含水系统的储水特征与渗流条件，反映了松散沉积连续含水层与基岩裂隙、岩溶溶隙-溶洞断续或零星展布的含水层之间地下渗流场的差异规律。采用区域水均衡法评估了亚洲地下水资源，并详细阐明了亚洲不同地区的地下水开发利用与结构构成。通过分析不同水文地球化学作用下的地下水中特定元素的水平分带和垂直分带，运用层次分析法对地下水质量进行了洲际尺度评价。运用现代地热地质学理论，将亚洲地热资源赋存类型划分为现代火山型、隆起断裂型和沉积盆地型三种类型区，科学地反映了亚洲不同地热资源赋存类型及其分布规律，首次总结了亚洲地热及 3000 m 深度的地温场状况，揭示了亚洲地热与构造、火山等地壳运动的密切关系。探索性地研究了亚洲跨界含水层，并对跨界含水层地下水开发利用以及和谐度进行了评价。所有这些都为世界地下水资源研究提供了可靠的资料依据。

专著面对亚洲乃至全球资源短缺、环境恶化、地质灾害频发等系列重大问题日益突显的现实，在大量研究基础上指出：亚洲工业化和城市化的迅速发展所带来的资源与环境问题十分严重，加剧了土地沙漠化、土壤盐渍化、湿地退化、草地退化、河湖水量锐减，特别是地下水过度开采，区域地下水水位持续下降带来的负效应愈演愈烈，工农业及城镇废弃物对水土污染也在潜移默化地影响着人类赖以生存的地质环境。专著提出要高度重视亚洲地下水开采过程中引起的一系列地质环境问题和效应，如区域性地下水位持续下降引起地面沉降，地面沉降降低了城市排水防洪功能，使沿海地区城市海水倒灌，破坏道路、桥梁、地下管线、房屋建筑，给城市安全运营带来巨大威胁；矿区采空塌陷和地裂缝造成塌陷区内建筑物倒塌、耕地破坏、地下水强烈下泄、井水干枯等一系列危害，并造成了巨大

经济损失；岩溶塌陷使交通、矿山、水电工程、军事设施、农业生产及城市建设等各个领域深受其害；海水入侵导致沿海地区水质恶化，工农业和生活用水水资源减少，土壤生态系统失衡，耕地资源退化，使工农业生产受到危害，危害人类健康，最后还导致了生态环境的恶化。专著对地下水变化产生的生态环境影响进行了全方位、多层次、正负效应的研究，针对这些问题，提出了合理利用地下水资源和更好地保护生态环境与遏制负效应，构建人与自然资源及环境和谐关系的措施，揭示了地下水与地表生态系统、地质环境、社会经济之间的关系，并以此深入评价了地下水的资源和环境价值；并指出了地下水资源管理与保护的具体内容，即实现统一管理，有效合理地利用和分配地下水资源，加强地下水资源的水质、水量和水生态环境的保护，实现地下水资源的可持续利用，预防不良的环境地质问题，保障城市生活、工农业生产以及生态环境的可持续用水，提高水污染控制能力，提高污水资源化的利用水平，改革水资源管理体制并有效提高水资源科学管理水平，加大地下水资源管理执法力度，实现依法治水和管水等方面的措施，为区域地下水可持续开发利用和环境保护提供理论依据。

依本人对以张发旺为首的科研团队的了解，正是在编者的不懈努力下，才完成这部具有科学理论和实用价值以及时代意义的专著，因此本人愿意为此专著作序。该专著的公开出版发行，对中国与亚洲各国经济协调发展、增进学术交流和“一带一路”沿线国家的地质环境和地下水资源保护等，具有重要的现实与历史意义。

中国工程院院士



2019年1月30日

前 言

中国国家主席习近平在 2013 年 9 月和 10 月出访中亚和东南亚国家期间，先后提出共建“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”（以下简称“一带一路”）的重大倡议，得到国际社会高度关注。2014 年 6 月 5 日，习近平主席在中阿合作部长论坛上又一次系统阐述了“一带一路”及其所秉承的丝路精神，即“和平合作、开放包容、互学互鉴、互利共赢”。“一带一路”大部分地域都分布在亚洲，亚洲当然成为承载“一带一路”的极为重要的载体。

水是人类赖以生存和发展的不可替代的宝贵自然资源，随着“一带一路”国家社会经济的发展，特别是工业化、城市化进程的加快，地下水资源短缺正在成为这些国家和地区潜在的重大危机。

尤其是作为承载“一带一路”建设和发展的亚洲，大部分国家和地区将陆续迎来一个工业化时期。绿色丝绸之路又对周围国家与地区资源环境提出更高的要求，进行全流域水资源合理有效管理与利用，尤其是地下水资源的可持续利用的研究，成为推进该区域生态环境良性循环的关键，对于为流域国与国或地区与地区之间合理开发水资源提供依据，促进人与自然、资源利用与环境和谐共赢发展也有重要作用。

然而，亚洲大部分国家和地区地下水资源开发利用程度已经不断提高，水资源的供需矛盾也日益突出显现，一些地下水集中开发区正在面临日益严重的水资源短缺与水环境恶化问题，主要体现在以下几方面。

河流干涸。2007 年 3 月 22 日“世界水日”前夕，世界自然基金会（World Wide Fund for Nature, WWF）发布了题为《世界面临最严重危险的 10 条河流》的报告，报告中列举了全球面临干涸威胁最严重的 10 条大河，强调亚洲面临的形势尤为严峻，在 10 条面临最严重干涸威胁的河流中，有一半源自亚洲，包括湄公河、萨尔温江、长江、恒河和印度河。

湿地及湖泊萎缩。青海湖水位每年平均以 12.1 cm 的速度下降，水位下降最快的 2000 年，1 年内下降了 21 cm，以这样的速度，青海湖年平均减少湖水 4.36 亿 m^3 ，有专家预测，如果按照现在的速度不断萎缩，平均水深 18 m 的青海湖将在 200 年后完全消失。造成青海湖不断萎缩的因素主要有气候变暖、人类活动加剧以及降雨量减少等原因，特别是在青海湖周边盲目开荒，破坏了注水河流的水源，目前青海湖 50% 的注水河流已经干涸。

地下水超采。例如印度的古吉拉特地区、中国的华北平原和巴基斯坦的部分地区。由此产生了地下水位持续下降、井水量减少、海水入侵滨海含水层、地面沉降、咸水或污染水移动进入含水层等问题。一般来说，地下水位下降必然造成抽水井的加深，并相应增加提水深度，从而增大了开发地下水的费用。在某些情况下，超采造成的水位降低会使现有的抽水井报废。某些国家的某些地区出现地下水位过度下降的问题，这些国家有中国、日本、马尔代夫、韩国、斯里兰卡、泰国等。

淡水咸化及海水入侵。滨海平原大量开采地下淡水，打破原有的平衡，导致海咸水侵入淡水含水层，包括中国、日本、泰国和越南。例如，在泰国大量抽水导致的地下水位的快速下降，使得曼谷的浅层含水层受到咸水污染。在越南，海水入侵滨海含水层成为重要问题，在其主要河流下游的滨海平原，地下水的含盐量达到 $3 \sim 4 \text{ g/L}$ ，最高达到 10 g/L ，使得地下水已不适于饮用。中国海水入侵主要出现在辽宁、河北、天津、山东、江苏、上海、浙江、海南、广西 9 个省（自治区、直辖市）的沿海地区。最严重的是山东、辽宁两省，入侵总面积已超过 $2\,000 \text{ km}^2$ 。辽东湾北部及两侧的滨海地区，海水入侵的面积已超过 $4\,000 \text{ km}^2$ ，其中严重入侵区的面积为 $1\,500 \text{ km}^2$ 。莱州湾南侧海水入侵最远距离达 45 km 。

地下水水质较差。亚洲干旱和半干旱地区面积大，浅层地下水的含盐量高；沿海及岛屿周边的滨海地区淤积海岸带由于海水的混合作用，水质含盐量相对较高。同时，在特殊的地质环境条件下有很多地区地下水中的砷、氟、铁锰、氨等元素组分含量异常，超过饮用水卫生标准，对公共健康构成危害。地下水中的高含砷量已经成为威胁公共健康的定时炸弹。目前在亚洲有 12 个国家地下水的含砷量超过标准，至少 5 000 万人接触的含砷量超过 $50 \mu\text{g/L}$ ，其中以孟加拉国、印度、中国受砷威胁最为严重。如在孟加拉国 64 个区中 61 个区的地下水源中发现了砷，估计有 350 万人因饮用水处于砷中毒的危险之中。2002 年，中国地方性砷中毒分布调查结果表明，我国高含量砷主要分布在山西、内蒙古、新疆、宁夏、吉林、四川、安徽、青海、黑龙江、河南、山东等省（区），威胁着我国大约 267 万人的健康。据调查，湄公河三角洲以及红河三角洲地区管井中有 50% 的地下水中的砷离子浓度大于 $50 \mu\text{g/L}$ 。

冻层区退化。气候变暖势必引起多年冻土的退化，近 50 年来，整个北半球冻土面积缩小了 $300 \text{ 万} \sim 400 \text{ 万 km}^2$ 。中亚、北亚及中国北部地区冻层区也逐渐退化，最新研究表明，天山乌鲁木齐河源区多年冻土迅速退化，下限深度减小了 7.7 m 。近 20 年来，黄河源区地温长期处于增温状态，多年冻土出现表层融化，形成深埋的或少冰的冻土等现象；部分地带完全融化消失，连续多年冻土变成不连续冻土或岛状冻土。多年冻土退化后，土壤含水量减少，导致植被物种更替、“黑土滩”等退化现象。除温度升高外，多年冻土的退化还表现在活动层变化较大，特别是青藏高原，50 年来，冻土活动层增加了 1 m 左右；西伯利亚高原冻土活动层则增加了 $20 \sim 30 \text{ cm}$ 。

土壤沙漠化。沙漠化是由于气候变化和人类不合理的经济活动等因素，使干旱、半干旱和具有干旱灾害的半湿润地区的土地发生退化的现象。亚洲潜在沙漠化土地面积约 33.4 万 km^2 ，从 20 世纪 50 年代起沙漠化土地从原来的 13.7 万 km^2 增加到 17.6 万 km^2 ，沙漠化土地增加明显。

土地盐渍化。由于地表水和地下水没有联合利用，在印度，土地盐渍化面积约 600 万 hm^2 ，在 12 个主要的灌溉区，设计的灌溉面积为 $1\,100 \text{ 万 hm}^2$ ，其中有 200 万 hm^2 为积水面积， 100 万 hm^2 为土壤盐化区。在巴基斯坦的印度河盆地地下水水位上升和地下水盐度增加已成为非常重要的问题。

由此可见，亚洲地下水与环境问题研究是中国地下水与环境安全保障的需求，也是“一带一路”能够更好发展的重要保障。中国作为发展中的大国，21 世纪中叶将步入中等

发达国家的行列,在应对全球变化尤其是亚洲经济一体化中环境变化方面需要做出应有的战略贡献。为此,需要我们全面分析亚洲地下水与环境的响应状况,开展亚洲地下水环境与生态安全保障研究,进而综合掌控亚洲大陆地质环境及其时空变化规律,提升亚洲水文地质环境地质科学研究水平。特别是针对周边国家资源开发引发我国的环境地质问题,开展深入剖析和研究,为我国与亚洲各国经济协调发展,提供地质环境、地下水资源功能保障与环境保护科学依据,为“一带一路”的健康可持续发展提供水资源与环境依据。

《亚洲地下水与环境》专著运用地下水系统理论,创新性地开展了亚洲地下水系统的划分。提出了以气候地貌为主控依据的宏观地下水系统划分原则,拓宽了地下水系统理论。综合气候、地貌、地质构造、水文地质结构、地表水系等因素,划分了亚洲 11 个地下水系统和 36 个次级系统,实现了洲际尺度地下水系统的划分,突破了传统地下水系统以流域或以地质构造盆地均为平衡单位的地下水系统划分尺度上的局限性,完善和丰富了地下水系统理论。首次以系统论按地下水流动连续性的差异将地下水资源分布划分为:①平原、山间盆地松散沉积连续含水层;②丘陵、山地基岩断续含水层;③其他零星含水层。用区域水均衡和水文分割法评估了亚洲尺度地下水资源量。应用区域地质和大地构造理论划分出:西伯利亚地台、乌拉尔—蒙古褶皱带、塔里木—中朝地台、昆仑山—秦岭褶皱带、扬子地台、特提斯—青藏高原隆起、阿拉伯地块、印度地块和环太平洋岛弧 9 大水文地质构造域。以亚洲地下水形成模式与水循环特征规律,归纳出寒带高纬度—低纬度高海拔、温热带山区—高原—盆地和广阔平原—温热带 3 种地下水形成模式,亚洲高寒、寒带水循环冻融交替带、中西部内陆干旱荒漠水循环滞缓交替带、中纬度半干旱半湿润水循环半积极—缓慢交替带和南亚及中南半岛亚热带水循环积极交替带 4 大水循环分带。揭示了亚洲地下水分布规律,按亚洲地下水赋存类型划分为孔隙水、岩溶水、裂隙水和裂隙孔隙水 4 种地下水类型,并厘定了含水层的富水程度。将亚洲地下水地下热储类型划分为现代火山型、隆起断裂型和沉积盆地型 3 大地热类型,揭示了大地热流值与 3000 m 深度地温场及其地热资源分布的内在规律。按水文地球化学作用和有害组分对地下水质量进行定性评价。针对人体健康的地下水质量情况,通过分析不同水文地球化学作用下的地下水中特定元素的水平地域分带和垂直地势分带,划分出亚洲 4 大水文地球化学分带,运用层次分析法对地下水质量做出好、较好、一般、较差、差 5 个级别的定性评价。创建了跨界含水层和谐度定量评价数学模型:建立了澜沧江—湄公河流域跨界含水层和谐度定量评价技术标准和指标体系,创建了跨界含水层本质功能指标—社会经济管理指标—法律效应指标权重迭加的数学模型,将跨界含水层研究从定性研究上升到和谐度定量研究。对亚洲地下水与地表生态系统进行了全方位、多层次、正面和负面系统分析研究,提出了合理利用地下水资源和更好地保护生态环境与遏制负面效应,构建人与自然资源及环境和谐关系的措施,揭示了地下水与地表生态系统、地质环境、社会经济之间的关系,为区域地下水可持续开发利用和环境保护提供理论依据。

《亚洲地下水与环境》专著的资料依据主要如下。①“亚洲地下水资源与环境地质编图”(项目编号:1212010813090)。该项目起止年限 2008~2011 年,目标任务:综合研究亚洲地下水资源及地质环境状况,编制地下水资源及环境地质系列图件,填补洲际地下水资源及环境地质系列图件亚洲地区的空白,建立亚洲地下水资源与环境信息平台,为亚洲

各国自然资源开发利用、水资源规划、地质环境保护和防灾减灾提供科学依据。取得科技创新成果是《亚洲地下水系列图》(1:800万),由《亚洲水文地质图》《亚洲地下水资源图》《亚洲地热图》及说明书组成。②“1:500万亚洲地质环境系列图编制与重大地质环境问题研究”(项目编号:1212011120137)。该项目起止年限2011~2012年,目标任务:综合研究亚洲地下水与地质环境特征和规律,编制地质环境系列图件,揭示我国及周边国家资源开发引发的环境地质问题,开展中-俄-蒙跨界流域主要地质环境问题的专题研究,填补亚洲地质环境编图的空白,建立亚洲地质环境数据库,为我国与亚洲各国经济协调发展,提供地质环境与地下水资源保障科学依据。取得的成果有:《1:500万亚洲地质环境系列图编制与重大地质环境问题研究项目工作报告》《黑龙江-阿穆尔河流域生态地质环境研究专题报告》《亚洲地下水质量图》《亚洲地下水开发地质环境效应图》。③“中国及周边地区地下水资源与地质环境系列图编制”(项目编号:12120113014200)。该项目起止年限2013~2014年,目标任务:综合研究中国及周边地区地下水资源及地质环境状况,完善并出版亚洲地下水系列图;编制地下水质量图、地下水开发利用地质环境效应图、地下水生态环境图;揭示我国及周边国家资源开发引起的地下水与地质环境问题,开展与编图有关的黑龙江(阿穆尔河)流域地质环境问题综合研究;开展泰国曼谷西北部典型岩溶地区岩溶分布类型及形成环境研究;建立中南半岛全球岩溶碳汇效应的动态监测站;揭示中南半岛岩溶作用过程中碳汇的形成机制及控制因素;典型区域岩溶地下水开发与地质环境综合治理区划。取得的成果是亚洲地质环境系列单要素及综合图(《亚洲地下水质量图》《亚洲地下水开发利用地质环境效应图》《亚洲地下水生态环境图》)、《阿穆尔河流域主要地质环境问题专题研究报告》、《中国与中南半岛岩溶地质对比研究报告》;通过与国际水文地质学家协会(International Association of Hydro geologists, IAH)、联合国教科文组织(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO)、国际水文计划(International Hydrological Programme, IHP)等国际组织和协(学)会的项目合作,获取亚洲各国的相关资料。编制的《亚洲地下水与环境系列图》分为两部分,一是《亚洲地下水系列图》,包括《亚洲水文地质图》《亚洲地下水资源图》《亚洲地热图》;二是《亚洲地下水环境系列图》,包括《亚洲地下水质量图》《亚洲地下水开发地质环境效应图》《亚洲地下水生态环境图》。其中,《亚洲地下水系列图》于2012年出版,获得2013年度中国地质调查局地质科技奖一等奖,2014年度国土资源科学技术奖二等奖,2014年度中国测绘地理信息学会优秀地图作品裴秀奖金奖。2014年2月23日,河北省科技成果转化服务中心与中国地质科学院共同主持了由中国地质科学院水文地质环境地质研究所等单位完成的“亚洲地下水系列图编制与研究”成果鉴定:“总之,该成果继承和发展了国际地下水研究与编图的理念和方法,为亚洲各国自然资源开发利用、水资源规划与保护提供了科学依据,对国际水文地质学界影响深远。成果填补了亚洲同类图件的空白,总体达到国际领先水平。”《亚洲地下水系列图》公开出版发行后,联合国教科文组织将该成果在国际间分发,在国际水文地质界引起强烈反响。联合国教科文组织评价道:“成果对亚洲区域地下水资源评价与管理是非常宝贵的贡献,对亚洲跨界含水层管理十分有利,有助于地下水资源与环境更好的交流与合作,为水管理者和政策制定者提供科学依据,确保水资源的可持续管理和水资源短缺得到缓解,建议编制水质量与可用性图件。”

在中国地质调查局的支持下,为服务于“一带一路”水资源与环境保护的需要,于2014年开始编著本书。经过近4年的编著,2015年10月中国科学院院士李廷栋、任纪舜、汪集旸、袁道先和中国工程院院士卢耀如、武强,俄罗斯科学院院士沈照理、朱立新,中国地质学会专职副秘书长、《地质学报》《地质论评》常务副主编郝梓国研究员,中国能源研究会地热专业委员会主任、中国矿业联合会天然矿泉水专业委员会秘书长田廷山研究员等专家对本专著初稿进行审阅,给予了充分肯定和高度评价,并提出许多很好的意见和建议。本书后来又补充了资料,进行了反复修订和完善。

《亚洲地下水与环境》编写分工如下:张发旺、程彦培编写前言;董华编写第1章;韩占涛、张发旺编写第2章;董华、岳晨编写第3章3.1节、3.2节,侯宏冰编写第3章3.3节;陈立编写第4章;易卿编写第5章;蔺文静编写第6章;陈立、蔺文静编写第7章;盖力强编写第8章;张健康编写第9章;程彦培、侯宏冰编写第10章;侯宏冰编写第11章;蔺文静编写第12章;张发旺、黄志兴编写结语。附录由岳晨编排。全书由张发旺统稿。插图由董华、刘坤、裴玉杉、邱玉玲、靳凤清等编绘。书中地图的地理与自然部分由河北省欣航测绘院编制完成。郭有平、高自强、徐敏、王立兵参与了资料整理。

《亚洲地下水与环境》的面世,承蒙中国地质学会地质制图专业委员会秘书长、中国地质科学院地质研究所丁孝忠研究员推荐出版,特此表示衷心感谢。

本书参阅了Margat J和Van der Gun J撰写的*Groundwater around the world: a geographic synopsis* (CRC Press 2013年出版),对他们的贡献表示感谢。

本专著的研究成果是在中国地质调查局领导下完成的,参与国家有俄罗斯、印度、沙特、伊朗、日本、越南、泰国、韩国、蒙古等国家,得到了联合国教科文组织(UNESCO)和国际水文计划(IHP)等国际组织和协(学)会的资助和支持。在此向给予支持和帮助的国家、组织和专家表示衷心感谢!

鉴于作者水平有限,不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。作者也将继续开展研究,并收集有关最新资料和各位读者、专家的意见建议,争取在不远的将来出版第二版,以修正谬误之处。

目 录

序一	
序二	
前言	

第一篇 亚洲地下水分布规律及特征

第1章 亚洲自然地理	3
1.1 亚洲自然地理概况	3
1.2 亚洲构造运动对含水系统的控制作用	11
1.3 亚洲水文地质与地下水资源概述	19
参考文献	23
第2章 亚洲的地下水	24
2.1 亚洲的地下水形成与循环	24
2.2 地下水循环模式	24
参考文献	32
第3章 亚洲地下水系统	34
3.1 地下赋存类型与空间分布	34
3.2 地下水系统与特征	36
3.3 亚洲跨界含水层分布与特征	45
参考文献	49
第4章 亚洲地下水资源	50
4.1 地下水资源评价方法	50
4.2 地下水天然补给资源量	51
4.3 地下水的可开采资源量	55
4.4 地下含水系统补偿功能	56
参考文献	59
第5章 亚洲地下水质量	60
5.1 亚洲地下水环境背景	60
5.2 地下水水化学特征及其影响因素	62
5.3 亚洲地下水质量评价及分布规律	65
5.4 地下水水文地球化学作用分带	68
5.5 地下水特殊组分区域分布特征及成因	75
参考文献	85

第 6 章 亚洲地热及其资源分布概况 87

6.1 亚洲地热 87

6.2 亚洲地热资源 90

参考文献 94

第二篇 亚洲地下水开发与环境问题

第 7 章 亚洲地下水开发及利用 97

7.1 亚洲地下水对经济社会发展的贡献 97

7.2 地下水开采利用 104

7.3 亚洲地热资源开发利用 118

参考文献 125

第 8 章 亚洲地下水与地表生态系统 126

8.1 亚洲地下水与地表生态系统时空分布特征 127

8.2 地下水与陆地生态系统的关系 131

8.3 亚洲地下水生态功能分区 134

参考文献 139

第 9 章 地下水开发过程的地质环境效应 141

9.1 人类活动对地下水的直接影响 142

9.2 人类大型水利工程与地下水资源的关系 144

9.3 地下水开采的地质环境效应 146

9.4 地下水开采的地质环境效应分区 151

参考文献 154

第三篇 亚洲地下水资源管理与保护

第 10 章 地下水资源管理与保护 159

10.1 亚洲地下水资源现状 159

10.2 地下水资源管理 159

10.3 地下水保护的目和内容 165

10.4 构建水与环境信息平台，增进国际合作与交流 166

10.5 地下水资源开发利用与保护建议 168

参考文献 170

第 11 章 亚洲跨界含水层管理 171

11.1 跨界含水层（系统）研究状况 171

11.2 跨界含水层资源开发利用和谐度分析 177

11.3 跨界含水层（系统）资源管理与保护 185

参考文献 188

第 12 章 地热资源持续利用与保护	189
12.1 地热能利用的优势	189
12.2 地热能利用存在的问题	190
12.3 地热能利用保护建议	194
参考文献	196
结语	197
附录 1 专业名词	201
附录 2 亚洲部分国家或地区可再生水资源的统计	203
附录 3 亚洲巨型含水层系统的数据	205
附录 4 亚洲六大区地下水简要描述	206
附录 5 亚洲部分国家或地区地下水开采资源评估量	211
附录 6 额外阅读的建议	213