

河南地质研究与应用技术丛书

河南省地下水 资源与环境

赵云章 朱中道 王继华 等编著



中国大地出版社

河南地质研究与应用技术丛书

国土资源部全国地下水资源评价(K5.4—0299209078) 联合资助
河南省地矿局重点科研项目(Ky 2001002)

河南省地下水资源与环境

赵云章 朱中道 王继华 等编著

中国大地出版社
· 北 京 ·

内 容 提 要

人口、资源、环境是当今国际社会普遍关注的重点问题,本书以河南省水文地质条件自 20 世纪 80 年代以来的变化为立足点,对全省境内的地下水系统资源与环境进行了较为全面的分析与研究,并对地下水开发利用前景进行了展望,为河南省地下水资源开发、可持续利用和科学管理提供了重要依据。

图书在版编目(CIP)数据

河南省地下水资源与环境/赵云章,朱中道,王继华编著. —北京:中国大地出版社,2004. 6
(河南地质研究与应用技术丛书)
ISBN 7-80097-574-6

I. 河... II. ①赵... ②朱... ③王... III. ①地下水资源—资源开发—研究—河南省 ②地下水—水环境—研究—河南省 IV. P641.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 056723 号

责任编辑:赵学涛

出版发行:中国大地出版社

社址邮编:北京市海淀区学院路 31 号 100083

电 话:010—82329127(发行部) 82329008(编辑部)

传 真:010—82329024

印 刷:河南地质彩色印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:51.5

字 数:1190 千字

版 次:2004 年 6 月第 1 版

印 次:2004 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1—600 套

书 号:ISBN 7-80097-574-6/P·32

定 价:160.00 元

(凡购买中国大地出版社的图书,如发现印装质量问题,本社发行部负责调换)

**《河南省地下水资源与环境》
编委会名单**

主 编 赵云章

副主编 朱中道 王继华

成 员 魏秀琴 李东海 甄习春 李俊英 仝长水
阎振鹏 程生平 焦红军 王志宏 刘新号
吴继臣 田君慧 侯海燕 王荣彦 李彩霞
雷 淮 何俊照 杨新梅 姚兰兰 井书文
陈肖帆

前 言

人口、资源与环境是当今国际社会普遍关注的重大问题。水资源是自然资源的重要组成部分,是社会和经济发展的物质基础。水资源在全球经济和社会可持续发展过程中占有相当重要的地位,是人类赖以生存的不可代替的物质基础。缺水和由于不合理使用水资源而产生的环境问题是当前人类面临的重大课题。中国目前人均水资源量仅为世界人均水资源量的四分之一(中国 21 世纪议程, 1994), 此外, 全国大部分城市和地区的淡水资源供给已受到水质恶化和水生态系统破坏的威胁。缓解水资源短缺对社会经济发展的制约和水环境保护与治理, 已成为我国急待解决的战略问题。

地下水是我国城市生活和工农业用水的重要供水水源。全国约有三分之二的城市和部分农田以地下水作为供水水源。目前, 地下水资源开发利用过程中缺乏宏观规划和科学、严格管理, 导致局部地下水严重超采, 水位持续下降、漏斗面积不断扩大、地下水受到普遍污染等问题。此外, 在有些城市和地区, 与地下水有关的环境、生态问题日益严重, 如地面沉降、地面塌陷、土壤沙漠化和盐渍化等。因此, 以社会经济可持续发展, 地下水资源可持续利用, 社会经济与环境协调发展为原则, 对地下水资源进行科学管理, 是 21 世纪我国面临的重要任务。

河南省位于我国中部, 地处中西部的结合地带, 对发展中西部经济具有承东启西的重要战略作用。河南是个农业大省, 工业基础薄弱, 水资源浪费严重, 部分地区仅农业用水开采量就已接近或超过地下水的资源补给量, 水资源匮乏已成为制约国民经济发展的主要因素之一。据统计, 20 世纪 90 年代以来, 全省每年地下水的开采量为 100 亿 ~ 120 亿 m^3 左右, 且大部分集中在平原地区。开采量较大的中、东部部分地区已超采或达采补平衡, 开采潜力不大。根据地质环境监测资料, 全省已形成濮清南和温孟漏斗, 安阳、濮阳、新乡、许昌—漯河、商丘等城市也已形成的地下水降落漏斗, 显示补不及出。随着经济的发展、人口的增加、城市化水平的提高, 用水量的增加与水资源短缺的矛盾变得越来越突出。同时, 在部分黄灌区, 由于不合理开采地下水, 次生盐渍化等现象不断发生, 因此, 查清河南省地下水资源, 使经济与资源环境协调发展, 是地质工作者的长期任务。

建国以来, 河南省水文地质工作者在全省范围内作了大量的水文地质工作, 先后开展了 1:20 万区域水文地质普查、1:10 万农田供水水文地质勘查、1:10 万县市区域水文地质调查、主要城市供水水文地质勘查、水源地供水水文地质勘查、盐碱地改良水文地质试验、高氟水环境水文地质调查等, 并于 1959 年、1979 年完成了第一代、第二代 1:50 万河南省水文地质图, 对河南省工农业的发展起到了重要作用。

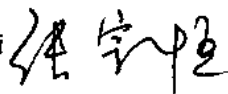
二十多年来, 受自然条件和人为因素的双重影响, 河南省水循环条件和水文地质条件发生了显著的变化, 导致地下水资源无论在数量、质量上, 还是在分布规律上都发生了很大变化。1979 年的 1:50 万河南省水文地质图已不能真实反映当前河南省的水文地质状

况及地下水资源分布,更不能适应当前我省国民经济发展的需要,严重制约着我省地下水的开发利用。20多年来,我省国民经济得到了迅速发展,水文地质工作也取得了骄人的成绩,对地下水的勘察和研究程度有了很大的提高。积累了一批新资料,因此,2001年我局决定编制第三代河南省1:50万水文地质图系及地下水系统资源与环境研究,以反映河南省地下水资源的数量和质量动态变化,为我省地下水资源合理开发、可持续利用和科学管理提供重要依据。

四十多年来,我局水工环地质工作者在查清河南省水文地质条件、地下水资源评价、盐碱地改良和咸水利用、地方性氟病区和地下水污染区的饮水工程、农业供水区划、城市居民供水水源地勘察、缺水山区居民饮水工程建设等方面进行了大量的卓有成效的生产和科研工作,有力地促进了河南省可持续发展战略的实施。特别是1980年以来,我局先后开展了1:20万区域水文地质普查、1:10万县市区域水文地质调查等一系列水文地质工作,仅国家投入在亿元以上,在吸收社会资金进行主要城市供水水文地质勘察和水源地供水水文地质勘察方面,更是作出了卓越的成绩,二十年来,先后探明地下水供水水源地54处,提交上表储量 $554.81 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;初步探明地下水远景储量(D级) $270 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。但是,这些丰富的资料没有进行系统总结,严重影响和制约了我省的工农业发展。鉴于此,河南省地矿局于2001年立项开展了1:50万河南省水文地质图编制和研究工作。在党的十六大召开之际,《河南省地下水资源与环境》一书问世,并系统编制了新一代1:50万河南省水文地质图、地下水资源分布图、地下水开发利用图、地下水环境质量图。研究报告详细阐述了我省地下水系统形成条件,首次划分了我省地下水系统,论述了含水层系统和地下水流动系统特征及水文地球化学特征,依动态的系统的观点重新评价了地下水系统资源,首次进行了省内地下水系统水质评价、地下水脆弱程度评价,对地下水资源的开发利用现状、供需平衡分析及地下水开发利用对策等进行了预测评价和积极探讨。这些努力和成果必将对我省经济和社会发展及地下水资源合理开发利用及管理提供重要依据。

真理是相对的,实践是多元的。随着我省水文地质工作的进一步深入,更新更完善的水文地质研究成果将不断展现在大家的面前。由于作者学识和经验所限,难免有所疏漏和偏颇,敬请有关专家和读者不吝赐教。

河南省地质矿产勘查开发局总工程师



二〇〇三年十月二十五日

目 录

前 言	(1)
绪 论	(1)
第一章 研究报告及绪图原则与方法	(15)
第二章 地下水形成条件	(20)
第一节 气象水文	(20)
第二节 地形地貌	(24)
第三节 地质特征	(29)
第三章 含水层系统及地下水系统划分	(42)
第一节 地下水含水层系统的水文地质特征	(42)
第二节 区域地下水系统划分	(62)
第四章 地下水流动系统特征	(67)
第一节 黄淮海平原地下水流动系统特征	(67)
第二节 焦作九里山岩溶水流动系统特征	(82)
第三节 小南海泉域岩溶水流动系统特征	(90)
第四节 百泉泉域地下水流动系统特征	(94)
第五节 主要城市地下水流动特征	(97)
第五章 水文地球化学及同位素特征	(100)
第一节 主要地下水系统的水文地球化学特征	(100)
第二节 同位素水文地球化学特征	(114)
第六章 地下水系统资源评价	(134)
第一节 地下水资源评价研究简史	(134)
第二节 浅层潜水(微承压水)天然资源评价	(137)
第三节 浅层潜水(微承压水)可开采资源计算与评价	(149)
第四节 浅层潜水(微承压水)资源潜力评价	(157)
第五节 深层承压水资源评价	(158)
第七章 黄河影响带子系统综合研究	(164)
第一节 黄河影响带地下水子系统边界的确定	(164)
第二节 黄河影响带地下水子系统特征	(169)
第三节 黄河影响带地下水子系统资源评价	(174)
第八章 地下水环境质量评价	(196)
第一节 主要含水层的水文地球化学异常	(196)
第二节 地下水人为污染组分的分布规律	(208)

第三节 地下水质量评价	(211)
第四节 地下水环境脆弱程度评价	(216)
第五节 地下水环境质量综合评价	(218)
第九章 地下水资源开发利用展望	(220)
第一节 地下水开发利用现状	(220)
第二节 地下水资源潜力分析	(223)
第三节 2010 年、2030 年水资源供需平衡展望	(226)
第四节 地下水开发利用存在的主要问题	(230)
第五节 地下水开发利用及保护的公共政策建议	(233)
第六节 平原(盆地)实施地下水库调蓄战略	(235)
第七节 黄河影响带实施补源增采战略	(239)
第八节 岩溶水地区实施以补定采、泉域统一规划开发战略	(248)
第十章 结论与建议	(250)
后 记	(254)
英文摘要	(255)
参考文献	(258)

绪 论

河南省位于我国中部,黄河中下游,地理坐标:东经 $110^{\circ}21' \sim 116^{\circ}39'$,北纬 $31^{\circ}23' \sim 36^{\circ}22'$ 。南北纵跨 530km,东西横亘 580km,总面积 $16.70 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占全国总面积的 1.74%,周边与山东、安徽、湖北、陕西、山西和河北 6 省毗邻。因本省大部分地区位于黄河之南,故称河南,古属豫州,简称“豫”。

河南交通发达,陇海、京广、焦枝、京九四条铁路干线贯通全境,并分别交汇于郑州、洛阳、商丘;太新、新兗、漯阜铁路分别交汇于新乡、漯河,已开工的宁西铁路交汇于南阳、信阳、潢川,铁路在境内已联成网络,为全国重要的交通枢纽。全省公路四通八达,安阳至新乡、郑州至信阳、商丘至三门峡高速公路已先后建成通车,全省实现了乡乡通公路,有 14 个县实现了村村通柏油路。以郑州为转运站的航空运输有 40 余条国内航线。内河航运不甚发达,目前只有淮河、黄河、唐河、白河、丹江及沙颍河、洪河等河流的部分河段可通航。

建国以来,河南省水文地质工作者在全省范围内作了大量的水文地质工程地质环境地质工作,并于 1959 年、1979 年编写了第一代、第二代 1:50 万河南省水文地质图,对河南省工农业的发展起到了重要作用。

20 多年来,受气候变化和人为因素的双重影响,河南省水循环条件和水文地质条件发生了显著的变化,导致地下水资源无论在数量、质量上,还是在分布规律上都发生了很大变化。1979 年的 1:50 万河南省水文地质图和提供的地下水资源量已不能真实反映当前河南省的水文地质状况及地下水资源分布,更不能适应当前我省国民经济发展的需要,严重制约着我省地下水的开发利用。同时,第二代水文地质图对深层地下水资源、地下水水质未计算评价。

20 多年来,我省国民经济建设得到了迅速发展,水文地质工作也取得了骄人的成绩,对地下水的研究程度有了很大的提高。我省 1:20 万区域水文地质普查已基本完成,并开展了 30 个县市区域水文地质调查,1:5 万~1:10 万城市和工矿企业地下水资源勘查等工作,积累了一批新资料,水土环境地质重大科研项目也取得了大量新成果,勘查技术也得到了迅猛发展。这些都为第三代水文地质编图和重新评价河南省地下水资源提供了扎实的基础。

重新研究地下水资源与环境,编制第三代河南省 1:50 万水文地质图系,以反映我省地下水资源的数量和质量的动态变化,对河南省地下水资源合理开发、可持续利用和科学管理,是十分必要的。

一、社会经济概况

2001 年,河南省行政区划现状为 18 个省辖市,89 个县、21 个县级市、48 个市辖区,2123 个乡镇。

河南是我国人口分布最稠密的省区之一,2001年末全省总人口9555万,居全国第一位,其中城镇人口2334万人,乡村人口7221万人。2001年全省国内生产总值达5640亿元,其中第一产业1234亿元,第二产业2659亿元,第三产业1746亿元,人均国内生产总值5923.6元。

我省城市化进展加快,市区面积达 $1.20 \times 10^4 \text{ km}^2$,城市化水平为16%,以郑州为中心的郑、洛、汴、新、焦、许等中原城市群,在交通、能源、通讯等基础设施方面的一体化发展趋势正在加强,中心城市对区域经济社会发展的吸引力、辐射力明显增强;洛阳、开封、商丘、安阳等已成为区域中心城市和旅游胜地;工矿城市主要有以煤矿开采而兴起的平顶山、焦作、鹤壁、义马、新密、永城,以水资源开发而兴起的三门峡,以油田开发而兴建的濮阳,以钢铁工业兴建的舞阳、安阳。此外,历史上形成的区域中心城市有新乡、许昌、驻马店、周口、漯河、信阳等。

河南已形成以国有工业为主导,大中型企业为骨干,机械、电子、化工、冶金建材、纺织、食品、医药、烟草为支柱,门类比较齐全,布局较为合理的工业体系,以较为优越的矿产资源为依托的能源,原材料工业和以农业资源为依托的食品、纺织工业在全国占有重要位置,有色金属加工业,特别是铝工业在全国也居重要地位。近年来乡镇工业和个体工业迅速发展,成为全省工业经济的重要组成部分和推动农村经济发展的重要力量。2001年全省工业总产值为7379.30亿元,其中轻工业3141.38亿元,重工业4237.92亿元,全年工业增加值为2251.19亿元。

我省工业主要分布在中、西、北部,其中郑州、洛阳、焦作、平顶山、安阳等城市较为集中和发达。能源工业主要分布在京广铁路以西,东部有中原油田和永城煤矿;有色金属冶金工业主要分布在郑州以西,钢铁工业在安阳和舞阳;机械制造业特别是农机制造业具有一定规模,分布在洛阳、郑州、开封、许昌,矿山机械分布在洛阳、郑州、焦作,纺织机械分布在郑州、开封,电线电缆、轴承分布在郑州、洛阳,机床制造业、电工制造业主要在各大城市,化学工业遍布全省,已形成安阳、新乡、洛阳、周口、平顶山、开封、南阳等十多个棉纺中心;卷烟工业分布在郑州、新郑、开封、安阳、许昌等地。年工业增加值超过200亿元的城市有郑州、洛阳、南阳。

河南省土地肥沃,旱作农业条件最好,是全国主要粮棉油产区,主要粮食品种有小麦、玉米、水稻、红薯和大豆等,主要经济作物有烤烟、芝麻、棉花等。2001年全省粮油总产分别为4120万吨和362.49万吨,创历史最高水平。

河南是全国重要的畜牧业省份,大牲畜、生猪、山绵羊饲养在全国均居前列,不少饲养业已趋于产业化、规模化,水果总产量也居全国前几位。2001年全省农林牧渔业总产值为2102.79亿元,其中农业1331.55亿元,林业57.00亿元,牧业693.81亿元,渔业20.43亿元。

二、国外研究现状

“水文地质学”这一术语,早在19世纪初就在欧洲被正式提出来,但真正成为一门比较完整、系统的独立学科,开始于20世纪30~40年代,特别是第二次世界大战结束之后,随着西方许多国家(包括前苏联)对地下水的研究,从研究地下水的自然现象、形成过程和基本规律,逐渐发展到对地下水的定性、定量评价,以及地下水的基本

理论、调查方法和应用方向逐步形成。自 20 世纪 90 年代以来,从地下水系统的研究已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,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。

自 20 世纪 70 年代以来,由于应用数学在地下水动力学中的渗透以及电算技术的推广和应用,不仅丰富和突破了传统水文地质学的内容,而且,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。系统科学、环境科学、现代应用数学与计算机技术等新思想、新理论与新技术的输入,使水文地质学的基本概念与研究范畴发生了巨大变革,使水文地质学与现代科学更紧密的融合起来。如系统论、信息论、控制论与相应产生的系统科学、环境科学、信息科学等,对水文地质学的发展起到较重大影响。近年来正在发展的开放复杂巨系统理论,非线性动力系统理论,以及耗散结构理论等,都会对今后水文地质学的发展产生深远的影响。

近十多年来,国外也重视地下水系统基础问题研究,进一步发展了地下水流系统的理论。例如托特(Toth)曾提出理想的二维均质各向同性的潜水盆地模型,即理论上的水流模型,反映不同水流系统之间的边界条件,把潜水盆地按水流系统的不同层次划为局部水流系统,中间水流系统和区域水流系统;地下水流系统实际上以研究由流线与等势线组成的流场为基础,分析研究水流系统的流网结构,作为划分系统边界的重要依据。英格伦(G. Englen)等在 20 世纪 80 年代进一步发展了地下水流理论,把赋存地下水的介质场、驱动地下水流的水势场、温度场和水化学场,看作是从源至汇由流面群构成的、具有时空演变特征的有机体,进一步提高了水流系统的重要性。

国际上对水文地质图的研究工作十分重视,国际水文地质学家协会早在 1950 年就成立了国际水文地质图委员会,并建立了专门工作组,制定了国际统一图例,并于 1970 年出版,1974 年由原地矿部水文地质工程地质研究所译成中文引入我国。该图例方案主要把含水层系统划分为三大类:①孔隙含水层;②裂隙含水层(包括岩溶含水层);③不含水或弱含水层。该图例方案对含水层的分类较为简单,对含水层的富水性只作了定性评价。

1983 年在万隆召开的亚太地区国际水文地质图学术讨论会,重点讨论了国际图例试用经验、滨海地区编图方法,以及组织编制亚洲水文地质图等问题。从展出的图件可以看出,水文地质图逐渐走向统一,即以划分地下水类型作为编图基础,以反映含水层系统的富水性作为基本内容。

1989 年在德国汉诺威召开了第一次全球性的国际水文地质图学术会议,有五大洲 49 个国家的代表出席,大会展示的大量图件,反映了 20 世纪 80 年代各国水文地质编图工作取得的巨大进步。主要表现在:①图件编制无论在理论、内容上,还是技术方法上,都有很大发展;②反映含水层富水性为主的水文地质图,已不能满足各国的实际需要,因此都已编制一个图组或图系来代替单项图件;③各国的图件不同程度地反映了地下水系统的理论和观点;④遥感技术、地理信息系统和计算机技术已成为水文地质编图不可缺少的手段。

20 世纪 90 年代,德国著名水文地质编图专家史特洛克迈尔(W. F. Struck - meier)

与法国的马加(J. Margat)共同编著了最新《水文地质图编图指南标准图例》,由国际水文地质学家协会于1995年正式出版,该指南提出按不同工作阶段与不同要求建立水文地质图分类系统,其中主要包括普通水文地质图、地下水资源图及地下水脆弱性图,并按研究程度划分为低、中、高三个等级。高级程度的水文地质图,要求编制相当概念模型的区域地下水系统图,该指南除以欧洲水文地质图(柏林幅)作为样图外,同时选出非洲博茨瓦纳共和国地下水资源图、法国水文地质图、德国明斯特盆地地下水系统图作为补充样图。以上图件都不同程度地应用了地下水系统的观点。同一时期,国际水文地质学家协会又出版了伏尔巴(J. Vrba)与扎泊罗切克(A. Zaporozec)编著的《地下水脆弱性图编图指南》,并选择英国肯特地区的地下水脆弱性图作为样图。以上两本工具书,在国际上具有最高权威。我国著名水文地质图编图专家陈梦熊院士认为:以上两本工具书从编图内容来看,不论在理论上或编图方法上,除反映含水层富水性为主的水文地质图相对比较成熟外,其他如地下水资源图以及地下水系统图等还不够成熟,仍处于探索阶段,需进一步完善。

三、国内研究现状

我国对地下水的认识和开发利用,虽具有悠久历史,但真正运用地质科学的理论与方法进行地下水形成与变化规律的调查研究,始于20世纪30年代。如老一代的地质学家朱庭祜、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。但是,我国地下水形成与演化研究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20世纪50年代。

新中国成立以来,我国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7个方面概括水文地质工作的研究现状。

(一) 水文地质勘察

1957~1980年,在全国开展了第一轮水文地质普查,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 的农牧区供水水文地质勘察,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。

20世纪70年代末,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、太行山能源基地等,取得了许多重要的科研成果。

自20世纪70年代末至90年代初,我国开展了1:20万区域水文地质普查,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、典型岩溶区地下水研究等。

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、新乡等 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, 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、廖资生、钱学溥等), 为基岩地区找水进行了有价值的探索。

(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如北京市, 分区预测计算了全区降水、河流和地下水资源总量, 提出了以城市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, 确认黄土孔洞—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(6000km²)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(并登记上表)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 5×10^4 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(占 25%), 裂隙水 82 处(占 7%)。

在地下水资源的特点和分类研究方面, 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征。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, 地下水的储存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、储存量和消耗量, 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、储存量和允许开采量。

(三) 地下水资源管理研究

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題,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行管理,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、开封、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,取得了一批重要的研究成果。

(四) 水文地质模型与模拟研究

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,大大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、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、单一模型与藕合模型等。

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等。

(五) 水文地质学的基本概念、基础理论研究

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。比较多的学者认为,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”这一术语的出现,一方面是系统思想与方法渗入水文地质领域的结果,另一方面则是水文地质学发展的必然产物(张人权,1987)。狭义的地下水系统“是指由隔水或相对隔水岩层圈闭的,具有统一水力联系的含水岩系统”(王大纯等,1995)。而从地下水系统的环境功能和社会属性角度来看,地下水系统包括地下含水系统和与之相关的社会、经济、环境要素的总体。将地下水作为系统来研究,其目的就是运用系统思想分析地下水问题,而运用系统工程的方法解决地下水问题。地下水系统的形成及其特性,一方面取决于自然因素,如地质和水文地质条件、水文和气象条件等,另一方面它受社会因素的控制和制约,如经济、技术、法律等,而且人类总是通过对地下水系统的操作和控制,来达到一定的目的。从这种意义上来讲,地下水系统是一个自然-人工复合系统。

对地下水形成与演化的研究,目前定量描述的主要内容包括:①非均质含水介质的空间分布特征;②补给量与排泄量随时间的变化;③包气带水与矿物溶解物质的运移和变化;④温度场的变化;⑤合理开发和管理地下水资源的经济指标,即开采资源的基本平衡;⑥建立水文地质概念模型,为进一步建立数学模型奠定基础。每一个地下水系统都具有一定的时空特征及其水动力系统,并有固定的平衡形式和一定的水资源类型,其综合特征为:①具有一定的连续的空间范围(流域、盆地、建造);②地下水与空间介质的机械作用,包括水动力作用、水热作用和水生物作用;③水循环的连续性,表现为含水系统的时间状态,其连续性表现为脉冲-反应的双重性质。

根据上述特征,地下水系统目前被划分为:①以流域为水资源均衡单位的地下水系统,它包括地表水、地下水及大气降水的均衡;②以水文地质盆地为水资源均衡单位,包括完全充满或未充满盆地中的地下水,通常浅部含水层更有利于补给与开采;③深部含水介质中的地下水,通常不具备平衡的意义,一旦开采就不易恢复。

地下水系统概念模型主要反映边界条件、补给量、排泄量、潜水及承压水的水动力、水化学特征及其相应参数的空间分布与形成的全部结构,就是把一定范围内的地下水体,作为一个完整的系统,从整体上、全局上和在系统与外界环境相联系,着重分析

整体与部分之间,整体与局部环境之间的相互作用和相互制约关系,并在系统分析的基础上,实行定量与模型化。

关于地下水系统结构与特征,陈梦熊院士(1998)归纳为:①地下水系统是在一定边界条件的限制下,由若干具有一定独立性,而又互相联系、互相影响的子系统或更次一级不同等级的系统所组成。②每个地下水系统具有统一的水循环系统、水动力系统、水化学系统,并具有各自的特征与演变规律;系统与系统之间,通过水流传输作用,进行复杂的物质和能量的转换。③地下水系统是水文系统的一个组成部分,与地表水系统有密切联系;地下水系统的演变,很大程度上受输入系统与输出系统的制约。④地下水系统的渗流场、水动力场或水化学场所发生的变异,很大程度上也受到含水体的介质系统或结构系统的影响与制约。⑤地下水系统的时空分布与演变规律,既受天然条件,如地质环境、气候环境、水环境、生态环境等因子控制,又受社会环境、特别是人类各种经济活动、工业化、城市化所造成的影响而发生变化。因此,地下水系统被认为是一个错综复杂、包括各种天然因素、人为因素所控制的、有不同等级的、互相联系又互相影响、在时空分布具有四维性质和各种功能、不断运动演化的若干独立单元的统一体。

陈梦熊院士认为:地下水系统的研究,主要包括地下水系统的结构与分级;水文系统研究;水动力系统研究;水化学系统研究;边界性质与相邻系统研究;反映地下水系统的水文地质图编图方法的研究(2002)。

其他学科领域的一些新理论,如灰色系统理论、地质统计学、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—时间克里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) 新技术、新方法在水文地质方面的应用

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,大大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 and 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、超长波电磁、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,均取得了良好效果。

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, 有利于遥感图象的解译。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他方法, 可以确定地下水的成因、年龄、径流途经和补排关系等, 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、水化学成份等)。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。

(七) 水文地质编图及信息系统建设

我国自 20 世纪 50 年代开始, 就在全中国有计划地开展区域水文地质普查工作, 至 60 年代末陆续编制了按国际图幅分区的第一代水文地质图, 其编图方法由于当时受原苏联学术思想的影响, 主要采用苏联水文地质图的模式, 地质内容较多而水文地质要素不足。

1974 ~ 1979 年原国家地质总局在总结以往经验的基础上, 参考国际水文地质学家协会 (IAH) 制定的国际统一图例, 结合我国实际情况, 制定了新的 1:20 万按国际图幅水文地质编图方法与统一图例《综合水文地质编图方法与图例》, 该编图方法以划分地下水类型作为编图基础, 以反映含水层系统的富水性作为基本内容, 其中地下水类型共划分 5 大类 9 个亚类, 并在全中国范围内开展了 1:20 万区域水文地质普查, 取得了较好效果。与此同时, 还按自然单元编制了区域水文地质图, 如 1:100 万黄淮海平原和松辽平原区域水文地质图系, 各省编制了第二代区域水文地质挂图, 并由原地质矿产部水文所组织出版了《中华人民共和国水文地质图集》(1979 年), 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象集》和《中国岩溶地区典型遥感水文地质图象集》。长江、黄河等大江大河的流域规划以及华东、东北、华北等经济区, 都分别编制了水文地质图、地下水资源图或环境水文地质图, 主要城市编制了城市环境地质图系。20 世纪末, 在我国地下水开发程度较高的地区, 开展了部分县市区水文地质调查, 编制了反映地下水资源为主的 1:10 万地下水资源分布图和地下水规划图, 为国民经济规划提供了科学依据。

从 20 世纪 80 年代末至今, 我国多数省份分别出版了水文地质图集或环境地质图集, 其中辽宁、山东、陕西等省, 水文地质图仍是按含水介质划类, 富水性分区加水质