



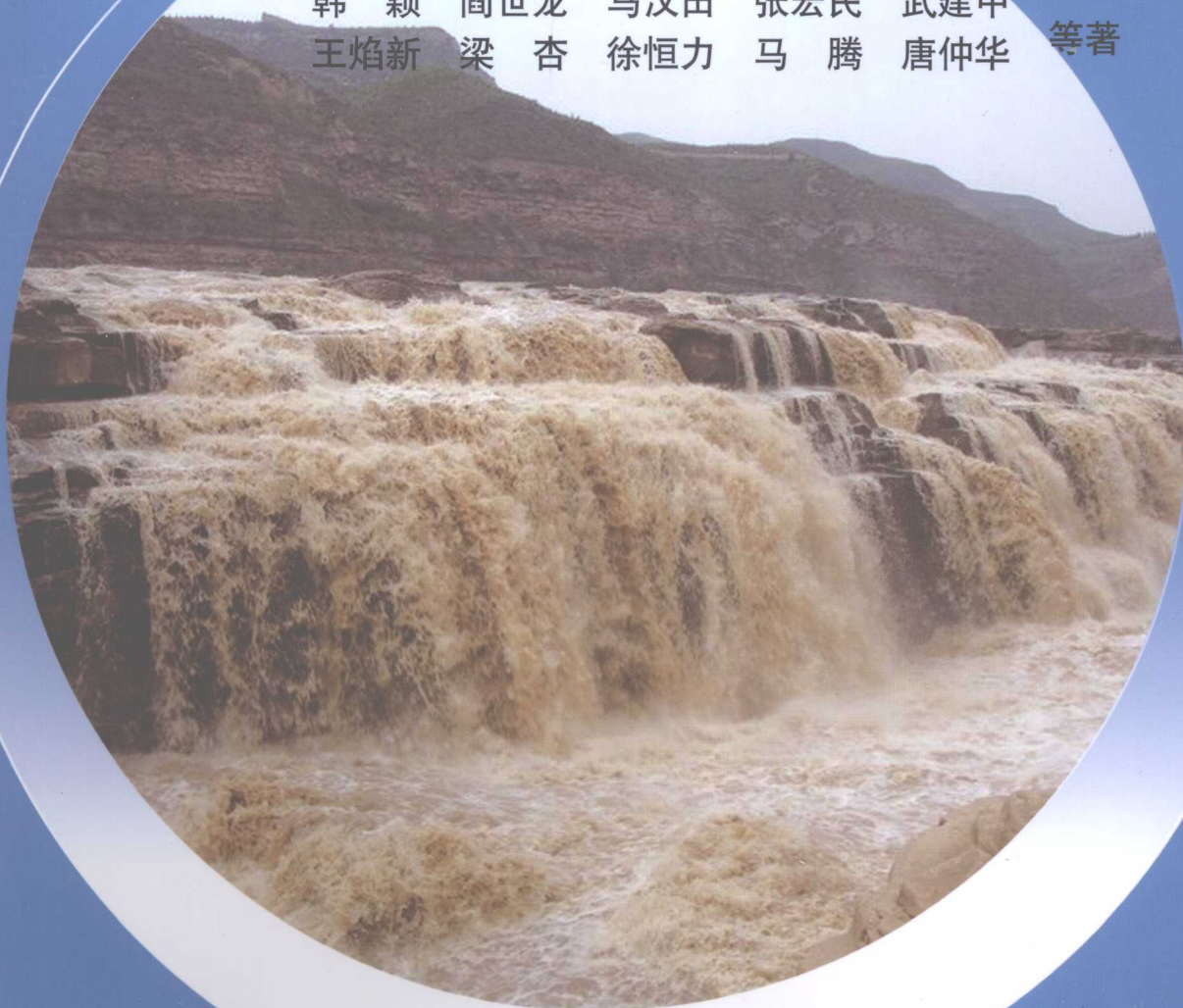
地质调查成果系列

全国地下水资源及其环境问题
调查评价系列成果

山西六大盆地地下水资源 及其环境问题调查评价

中国地质调查局

韩颖 阎世龙 马汉田 张宏民 武建中
王焰新 梁杏 徐恒力 马腾 唐仲华 等著



地质出版社

中国地质调查局成果报告

山西六大盆地地下水资源及其 环境问题调查评价

中国地质调查局

韩 颖 阎世龙 马汉田 张宏民 武建中
王焰新 梁 杏 徐恒力 马 腾 唐仲华 等著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

作者通过全面系统搜集山西六大盆地水文地质、环境地质等以往研究成果,采用1:25万水文地质环境地质调查,水样、土样、同位素样品采集、测试,抽水试验、入渗试验、水文物探勘测、水文地质钻探、遥感、数值模拟等方法技术手段,基本查明了山西六大盆地地下水系统结构及其循环演化规律;对盆地基础地质、地下水系统特征、孔隙水富水性及补、径、排条件,以及水动力场、水化学场的时空演化特征等进行了较细致的研究,建立了各盆地晚新生代地层结构模型和地下水数值模型;从地下水资源开发利用和可持续发展角度,运用水均衡法和数值计算法评价了各盆地孔隙地下水资源;根据各盆地实际情况分别计算了利用潜力和开采潜力,对各盆地地下水进行潜力评价;对盆地地下水开发利用历史、开发利用现状及开发利用中存在的主要问题进行了分析论述,对地下水资源开发利用产生的正、负环境效应进行了分析,在此基础上对各盆地环境地质条件进行了综合评价;根据地区发展规划,对地下水的需求量进行了预测,提出各盆地地下水资源合理开发利用的区域规划建议;建立了山西六大盆地地下水资源数据库,为全国地下水资源及其环境问题综合评价研究提供了数据。

本书可供水文地质、环境地质科研人员及政府有关人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

山西六大盆地地下水资源及其环境问题调查评价/韩颖等著.
北京:地质出版社,2008.11
ISBN 978-7-116-05898-9

I. 山… II. 韩… III. ①盆地-地下水资源-研究-山西省②盆地-地下水-水环境-研究-山西省 IV. P641.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 182847 号

责任编辑:郑秀娟 陈军中

责任校对:韦海军

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:889 mm×1194 mm^{1/16}

印 张:33.25

字 数:920 千字

印 数:1—1200 册

版 次:2008 年 11 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:80.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-05898-9

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

全国地下水资源及其环境问题调查 评价项目组织实施机构

主 持 单 位：中国地质调查局

技术负责单位：中国地质科学院水文地质环境地质研究所

承 担 单 位（排名不分先后）：

中国地质科学院水文地质环境地质研究所	天津地质矿产研究所
沈阳地质矿产研究所	西安地质矿产研究所
内蒙古自治区地质调查院	新疆维吾尔自治区地质调查院
青海省地质调查院	甘肃省地质调查院
宁夏回族自治区地质调查院	山西省地质调查院
河北省地质调查院	河南省地质调查院
山东省地质调查院	北京市地质调查研究院
天津市地质调查研究院	黑龙江省地质调查院
吉林省地质调查院	辽宁省地质调查院
中国地质大学（北京）	中国地质大学（武汉）
长安大学	吉林大学
石家庄经济学院	

全国地下水资源及其环境问题调查评价成果

编纂委员会

主 任：殷跃平

副主任：石建省 武选民 文冬光

委 员（以姓氏笔划为序）：

王永贵	王贵玲	王晓光	刘少玉
刘文生	刘 斌	孙晓明	朱 桦
李 志	杨湘奎	吴学华	张二勇
张永波	张光辉	张兆吉	张翼龙
陈宗宇	陈德华	林良俊	郝爱兵
赵海卿	侯光才	韩 颖	程旭学

序

山西省地处我国西北与华北交界地带，生态环境脆弱，降水稀少，水资源匮乏，地下水是工农业生产 and 居民生活的重要供水水源。与此同时，山西省是我国重要的能源煤炭基地，煤炭资源丰富，开发强度大，生态环境问题突出，水资源供需矛盾尖锐。在当前全球能源日趋紧张背景下，山西面临着煤炭资源开发与生态环境保护及水资源可持续供给的双重压力。山西六大盆地是山西省的政治、经济、文化重镇所在地，受自然和人为因素的影响，这些地区的地下水资源在数量、质量与空间分布近年来发生了根本性变化，并引发一系列诸如水质污染、地下水位下降、泉水断流、地面沉降等环境问题，地下水资源管理面临着合理开发、高效利用、优化配置、综合治理的新挑战。因此，山西六大盆地地下水资源及其环境问题的研究在国内外同类研究中既具有典型性，又具有示范性。

本书作者以地下水系统理论为指导，将地下水的资源、环境、生态、社会等功能融为一体，深入研究山西六大盆地地下水系统的结构及地下水循环演化规律，建立了地下水数值模型，从水资源开发利用与生态环境协调发展的角度，科学评价各盆地地下水资源的组成及其环境与生态功能，分析了水资源利用与煤炭开发等引起的地下水环境变化，提出了各盆地地下水资源合理开发利用区域规划建议，建立了山西六大盆地地下水资源数据库。该书既是对中国地质调查局项目“山西六大盆地地下水资源及其环境问题调查与研究”所取得的成果进行的一次全面、系统地总结，也是对近 20 年来国内外在水文地质领域所取得的新理论、新技术，新方法的一次全面应用。

该书的特色之处在于：

1) 通过资料收集和野外调查，获取了一批研究区的基础水文地质资料和数据，建立了地下水资源数据库，为当地水资源开发利用及相关研究提供了保障。

2) 提出的盆地松散沉积物结构三维可视化模型的逐级建模思路，以及沉积相分层切片岩性充填、三维空间钻孔岩性插值法和钻孔垂向等厚分层岩性概化法等建模方法，具有较高的推广价值。

3) 提出了基于地下水流动系统特征分析基础上的水化学-同位素信息提取技术与方法，建立了较完整的地下水系统分析框架。

4) 提出了以地下水系统结构变化-地下水系统功能变化-地下水系统环境效应为主线，以自然因素和人类活动为驱动力的环境地质问题分析思路，具有较高的学术价值。

综上所述，该书数据丰富，内容翔实，是我国水文地质领域的最新研究成果之一。值得指出的是，该书的撰写和与该书有关的地质调查、科研工作都是在山西省地质调查院和中国地质大学（武汉）的专业技术人员通力合作下完成的，是我国水文地质领域产学研合作的一个成功范例，部分相关的研究成果已在国内外学术期刊上发表，可喜可贺！我相信，该书对于指导山西省地下水资源管理实践，促进山西省地质环境改善，推动我国水文地质学科发展，都具有积极的理论和现实意义。

袁道先

二〇〇八年十一月十九日

前 言

我国地下水的长期持续开采为保障经济社会快速发展和农业稳产高产发挥了重要作用。随着地下水开采强度不断加大、地表水利工程大量修建等人类活动增加和全球气候变化影响,我国地下水资源与地质环境的整体状况与以往相比发生了很大变化,含水层枯竭、地下水污染、地面沉降地裂缝发育、土壤盐渍化和沙化程度加剧,原有的水文地质调查数据和成果已无法满足当代地下水资源开发和地质环境保护与管理的需要,亟待更新。同时水文地质理论、技术方法和相关研究领域不断发展,水文地质工作逐步转向资源与环境并重,促使我们需要用新的理论方法开展全国地下水资源和地质环境调查工作。

1999 年新一轮国土资源大调查启动以来,为全面掌握 20 多年来气候变化和人类活动影响下地下水资源和地质环境变化状况,制定地质环境保护的适应性对策,促进地下水资源的合理开发利用,中国地质调查局组织开展了“全国地下水资源及其环境问题调查评价”项目,第一期首先部署在我国北方的松嫩平原、三江平原、西辽河平原、华北平原、山西六盆地、鄂尔多斯盆地、银川平原、河西走廊、柴达木盆地、准噶尔盆地和塔里木盆地共 11 个平原盆地区,总面积达 $200 \times 10^4 \text{ km}^2$;项目开展前期,进行了多次专家论证,确保工作部署科学合理。项目组织实施单位水文地质环境地质研究所会同天津地质调查中心、沈阳地质调查中心、西安地质调查中心负责制订统一的技术要求,开展业务指导、关键问题研究、技术培训等工作,项目承担单位黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、北京、天津、河北、河南、山东、山西、宁夏、甘肃、青海、新疆 14 个省(区、市)的地质调查院,以及中国地质大学(北京)、中国地质大学(武汉)、吉林大学、石家庄经济学院、长安大学 5 所高等院校共 23 家单位的 400 余名水文地质人员参加了项目工作。

“全国地下水资源及其环境问题调查评价”,从 1999~2005 年,历时 7 年,采用遥感(RS)、地球物理勘查、同位素、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)和数值模拟等最新技术方法,以平原盆地为单位,重点调查了地下水系统的空间分布与结构,地下水的补径排条件及其变化,评价了主要平原盆地地下水资源量、调蓄能力、环境与生态功能,对新中国成立以来各主要平原盆地的地质和水文地质资料进行了系统整理编录,所有资料和数据全部录入数据库和信息系统。

项目取得的主要成果包括:①建立了北方主要平原盆地水文地质结构三维数字模型,查明了北方主要平原盆地的地下水系统空间分布与结构;②分区评价了各主要平原盆地地下水资源量及 20 多年来补径排条件及其变化;③查明了各平原盆地地下水开采现状、含水层枯竭、地面沉降、荒漠化、沙漠化、盐渍化及污染等环境地质问题;④以 GIS 软件为平台,建立了地下水资源与环境数据库;⑤采用 Visual Modflow、GMS、Feflow、PMWin 以及自主研发的 PGMS 软件建立了各平原盆地的区域地下水流数值模型,并进行了模拟预测;⑥开展了地下水资源、环境和生态功能分区评价,提出了各主要平原盆地地下水资源优化配置和合理开发利用方案,圈定了一批地下水应急供水水源地。各平原盆地报告成果主要内容如下。

松嫩平原:建立了松嫩平原全区的三维水文地质结构模型,利用同位素技术调查评价了松嫩平原地下水资源可更新能力,划分了松嫩平原地下水系统;查明松嫩平原近 20 年来土壤盐渍化、沙化面积进一步扩大,湿地大面积减少,水质污染加重;查明哈尔滨、大庆、长春等主要城市地下水位下降漏斗的发展变化以及与地下水相关的环境地质问题;利用地下水数值模拟模型对 2010 年和 2020 年的地下水流场变化进行了预测,给出了未来松嫩平原地下水流场变化趋势;建立了典型地区地下水水质污染预警系统。

三江平原:构建了三江平原地区地质结构模型,分析了不同时期第四系沉积特征和新构造运动特

点,划分了地下水系统;调查发现目前沼泽湿地仅占平原总面积的十分之一,零星分布在几个保护区及河流漫滩与古河道内,而在20世纪50年代占平原总面积的三分之二,80年代占三分之一;开展了地质环境质量和生态承载力评价,提出了三江平原地区生态地质环境保护的措施和对策建议。

西辽河平原:重建了西辽河平原第四纪地层系统,将本区第四系划分为不同时代、不同成因类型24个地质单元;利用20世纪80年代末和2000年TM卫星遥感数据,分析研究了地表水体与湿地分布、沙漠化、盐渍化的现状及发展趋势,研究结果表明土地沙漠化和土壤盐渍化面积在增加,而水域面积在减少;以县(旗)为单元,对地下水资源进行了现状及2010年两个时期的供需平衡分析,提出了地下水合理开发利用方案。

华北平原:重新厘定了第四系水文地质结构,查明了华北平原浅层地下水位和深层地下水位现状、变化以及地下水漏斗的分布,系统评价了含水层调蓄能力,选取了7个地下水调蓄的有利地段;圈定了北京、天津、石家庄等10个城市的23个应急水源地;进行了南水北调通水以后区域水资源供需状况分析,预测在南水北调实施后经过10年的开采量调整,至2020年,重点控制区内的浅层和深层地下水漏斗中心水位有不同程度回升,深层地下水漏斗影响范围也有显著缩小。

山西六盆地:在地下水系统划分的基础上,研究了盆地地下水流场时空演化规律,绘制了不同时期盆地地下水等水位线图,查明了各盆地地下水位降落漏斗分布范围、下降速率等变化情况;应用同位素技术,研究了地下水补径排条件及更新能力;分析了各盆地水化学特征及主要离子含量变化规律,开展了典型盆地两期水化学场的变化特征研究,发现通过近20年地下水开采,加速了地下水的循环交替,盆地中部水位下降,蒸发盐化作用减弱,微咸水区显著减少。

鄂尔多斯盆地:建立了全盆地三维地质结构模型和白垩系含水层结构模型;查明了盆地地下水资源总量及其开发利用潜力,发现了18处特大型地下水富集区,圈定了161处地下水源地;进行了盆地尺度含水层系统和地下水流系统划分;利用Packer定深分层取样技术,采集了白垩系巨厚含水层不同深度的地下水水头、同位素及水化学样品,分析了其变化规律;通过潜水补给与蒸发强度的原位试验研究,提出了不同条件降雨入渗补给规律和参数系列;采用多种地下水测年技术评价了地下水的可更新能力。

银川平原:对银川平原地下水主要水文地质参数进行了重新分析计算,科学地评价了地下水资源;应用同位素技术研究表明银川平原地下水补给量的80%来自于引黄灌溉入渗补给;建立了银川平原地下水三维数值模型及水资源优化配置模型,对银川平原2003~2020年的水资源利用进行了优化;提出了引黄水量减少后银川平原地下水合理开发利用对策。

河西走廊:在地下水资源及其开发利用潜力评价的基础上,分析了地下水开发利用的环境效应,确定了不同生态类型区的地下水水位埋深阈值;提出了昌马、双塔、花海、党河四个灌区地下水和地表水资源优化配置方案。

柴达木盆地:划分了柴达木盆地地下水系统和含水层系统,查明了柴达木盆地地下水水化学特征及演化过程,对全盆地地下水水质进行了分级评价;通过同位素样品的采集和分析,探讨了主要流域地表水、浅层地下水、深层地下水的循环及更新性;建立了格尔木河流域地下水流数值模型,提出了格尔木地区水资源合理开发利用模式。

准噶尔盆地:查明了盆地区域含水层结构,建立了天山北麓地质-水文地质结构模型;研究了区内水化学场时空演化规律,利用环境同位素分析了地下水循环特征以及可更新性;总结出区内“三水”转化的四种模式;通过原位试验研究,建立了包气带水分迁移转化数值模型及河流脱节条件下包气带水分迁移转化概率分布模型,定量评价了“三水”转化规律;开展了表生生态环境效应调查,研究了地下水水质、包气带含水量和含盐量与表生生态环境关系;利用地下水流数值模型对六种水资源开发利用方案进行了预测,确定了合理的水资源与生态环境保护方案,提出了地下水资源合理开发利用模式。

塔里木盆地:通过对盆地南缘TK17钻孔岩石地层学、磁性地层学、孢粉分析研究,揭示了盆地

的第四纪地层结构，古地理环境变迁，古气候演化过程；在查明区域水文地质条件的基础上划分了地下水系统，利用地下水同位素特征，分析了地下水形成和演化过程；选择 20 世纪 70 年代的 MSS 遥感数据和 90 年代的 ETM 遥感数据对比研究表明，土地利用面积、盐渍化土地面积减少，而沙化土地面积却有大幅度增加，严重沙化土地和重度沙化土地面积增加较多；规划论证地下水水源地 39 处。

为使调查研究成果及时服务于社会和政府规划决策需求，现分册编辑出版北方主要平原盆地地下水资源及其环境问题调查评价成果报告，供国土、环保、水利和农林等相关行业 and 教学科研部门参考使用。

本系列成果报告凝聚了我国水文地质学界众多专家、领导和科技人员的智慧和心血，是历时多年集体创新钻研的结果。张宗祜院士、陈梦熊院士、袁道先院士、卢耀如院士、薛禹群院士、林学铎院士、陈志恺院士、李佩成院士和王秉忱、岑嘉法、李烈荣、段永侯、哈承佑、王瑞久、沈照理、任福弘、张人权、秦毅苏、朱延华、邱心飞、韩再生等国内外著名专家对项目给予了长期悉心的指导。原中国地质调查局领导叶天竺、寿嘉华、孟宪来始终关注和支持项目进展，国土资源部副部长、中国地质调查局局长汪民同志亲自带队深入基层进行调研，并多次就项目进展做出重要指示，以上专家和领导的指导和支持确保了项目的顺利完成，在此一并致以衷心的感谢！

编者

2008 年 12 月

引 言

一、项目由来与目的任务

(一) 项目由来

山西地处黄土高原,是中国的矿业大省,也是我国北方缺水地区之一,多年来地下水开发利用量占总供水量的 70%以上,地下水资源为当地国民经济的发展作出了巨大贡献。山西六大盆地是山西省政治、经济、文化中心,随着社会经济发展和人民生活水平不断提高,水资源供需矛盾更为突出,有些地方已出现地下水位持续下降、地面沉降、地下水污染等由地下水不合理开采引起的环境地质问题。为了全面系统掌握盆地地下水形成、演化规律,地下水动力场、水化场特征,正确评价地下水资源,可持续利用地下水资源,有效预防、避免环境地质问题的发生发展,中国地质调查局 2003 年下达项目任务书,开展山西六大盆地地下水资源及其环境问题调查评价工作。

(二) 目的任务

1. 总体目标任务

查明山西六大盆地地下水系统的结构及其循环演化规律,重点查明各盆地地下水系统与地表水、周边裂隙-岩溶水的关系,以及水资源利用和煤炭开发引起的地下水环境变化;建立地下水数值模型,从水资源开发利用与生态环境协调发展的角度,评价各盆地地下水资源及环境与生态功能,提出各盆地地下水资源合理开发利用的区域规划建议,为全国地下水资源及其环境问题综合评价提供数据。

2. 2003 年工作任务

1) 系统收集、研究六大盆地相关资料,组织编制山西六大盆地地下水资源及其环境问题调查评价总体设计。

2) 调查太原盆地地下水系统的空间结构与演化规律。查明太原盆地地下水系统与地表水、周边裂隙-岩溶水关系。

3) 调查太原盆地地下水开采现状、煤矿开采对地下水的影响,评价地下水资源及其生态环境功能。

4) 采用物探、水文地质钻探等综合方法,开展太原盆地深部区域水文地质条件调查。

5) 建立太原盆地地下水资源及其环境问题空间数据库,参与建立太原盆地地下水数值模型。

3. 2004 年工作任务

1) 系统收集、研究大同盆地、忻州盆地、临汾盆地相关资料,调查地下水系统的空间结构。

2) 调查大同盆地、忻州盆地、临汾盆地地下水开采现状、煤矿开采对地下水的影响,评价地下水系统与地表水、周边裂隙-岩溶水关系。

3) 调查研究湖泊、湿地、陆表植被、土地质量相关因子的变化及其与地下水的关系,以及地下水变化与主要环境地质问题的关系,开展地下水环境与生态功能评价;调查研究地下储存空间和入渗条件,开展地下水调蓄能力评价。

4) 开展大同盆地、忻州盆地、临汾盆地深部松散岩类孔隙水水文地质条件调查。

5) 建立大同盆地、忻州盆地、临汾盆地地下水资源及其环境问题空间数据库,建立地下水数值模型。

6) 开展山西六大盆地地下水资源及其环境问题专题研究。

4. 2005 年工作任务

1) 系统收集、研究运城盆地、长治盆地地质、水文地质钻孔资料及其他相关资料,查明含水层系

统的空间分布与结构,建立盆地地质结构模型和水文地质概念模型。

2) 查明运城盆地、长治盆地地下水补、径、排条件和演变过程,地下水开发利用现状;了解深部松散岩类孔隙水水文地质条件。

3) 建立运城盆地、长治盆地地下水三维数值模型,重塑盆地地下水环境演化过程,为区域地下水开发利用提供科学依据。

4) 完成与地下水相关的环境及生态问题的分布、成因和演化过程的调查评价。

5) 评价盆地地下水的资源、环境功能、生态功能与调蓄能力,提出区域地下水资源的合理开发利用方案。

6) 调查分析长治盆地中岩溶水、裂隙水与盆地孔隙水的水力联系与相互转换关系,确定盆地下部煤层开采对盆地孔隙水、裂隙水、岩溶水的影响。

7) 建立运城盆地、长治盆地地下水资源与环境问题空间数据库,参与地下水资源动态评价平台集成,提供有关数据。

二、工作区以往研究程度及存在的问题

山西六大盆地涉及相对独立的6个盆地,各盆地研究程度不一,开展工作的时间也不一样,水文地质、环境地质条件各有特点,以下各章节的论述均按太原盆地、大同盆地、忻州盆地、临汾盆地、运城盆地、长治盆地的顺序展开。

(一) 以往研究程度

1. 太原盆地

太原盆地位于山西省中部、太行山与吕梁山之间,是山西粮、棉、煤炭、重化工基地的主要产地。省会太原市位于盆地的北部,是山西省政治、经济、文化中心。山西六大盆地区以往曾做过不同比例尺、不同期、不同目的水文地质环境地质勘查工作,如20世纪60~70年代,各县市开展的1/5万农田供水水文地质勘察,取得了一系列基础钻探试验数据;20世纪70年代提交的分幅1/20万水文地质图,概略分析研究了盆地区水文地质条件及其资源量;20世纪80年代中期开展的太原、大同、临汾等盆地地下水资源评价及开发利用报告,较全面详细论述了盆地水文地质条件、富水性分区,对盆地地下水资源进行了均衡计算,对当时的开采现状、开发利用条件进行了比较完整的阐述;1999年完成的山西省1:50万水文地质图和2001年完成的山西省地下水资源评价,对全省的水文地质条件及其变化特征进行了论述说明。总之,前人一系列勘探和研究成果在当地国民经济发展中起到了重要作用,这些宝贵资料为本次研究工作的开展奠定了扎实的基础。

1) 20世纪70年代盆地区各县1:5万农田供水水文地质勘察报告,山西省地质矿产局。

2) 山西省1:50万水文地质图,1976年,山西省地质矿产局第一水文地质工程地质队。

3) 太原盆地地下水资源评价及开发利用科研报告,1985年,山西省地质矿产局第一水文地质工程地质队。

4) 山西省地下水资源评价,1989年,山西省地矿局第一水文地质工程地质队和山西省水文总站。

5) 岩溶地下水系统的研究——以太原地区为例,1990年,赵永贵、蔡祖煌科学出版社。

6) 太原盆地地下水管理模型研究报告,1992年,山西省地质矿产局第一水文地质工程地质队。

7) 太原市水资源保护规划,1995年,太原市水利局、太原市环境保护局、太原市水源勘测队。

8) 太原市、榆次市、阳曲县、清徐县、汾阳市、文水县区域水文地质调查及地下水开发利用规划报告,1997~1999年,山西省地质矿产局。

9) 山西省1:50万水文地质图编图说明,1999年,山西省地质工程勘察院。

10) 山西省地下水资源评价,2001年,山西省地质环境监测中心。

2. 大同盆地

大同盆地位于山西省最北部,包括大同市、大同县、怀仁县、山阴县、应县、浑源县、朔州市等

7 个县市，大同市、朔州市是蜚声中外的“煤海”之乡，全国煤炭能源基地。在水文地质研究方面，本区主要研究成果有：

- 1) 大同盆地七县市农田供水水文地质勘察报告，20 世纪 60~70 年代。
- 2) 山西省雁北地区（1：20 万）综合水文地质图说明书，1972 年。
- 3) 大同市平原区污染水文地质调查报告，1984 年。
- 4) 大同市能源基地地下水资源供需平衡及发展对策研究，1985 年。
- 5) 山西省雁同小经济区水资源评价、供需平衡研究报告，1986 年。
- 6) 大同市地下水动态长观建网勘察报告，1989 年。
- 7) 大同市御河水源地地下水资源数值管理模型，1989 年。
- 8) 大同市 1：5 万水文地质图说明书，1989 年。
- 9) 大同市 1：5 万环境水文地质图说明书，1989 年。
- 10) 大同市时庄水源地深层水（资源开发前景的）研究报告，1990 年。
- 11) 山西省大同盆地土壤改良勘察报告，1991 年。
- 12) 大同市肖家寨水源地水资源评价报告，1995 年。
- 13) 大同市地下水资源开发利用规划报告，1996 年。
- 14) 大同市（城市）平原区地下水动态年报，2001 年。

3. 忻州盆地

忻州盆地各县（市）的水文地质工作从 20 世纪 60 年代开始，由地质、水利、冶金等部门先后进行了不同目的、不同精度的水文地质勘查及地下水资源评价等工作，各县（市）地方打井队在本县（市）先后施工了上万眼农田供水井，为本次工作提供了较丰富的基础资料。主要成果资料有：

1) 1959 年北京地质学院对区内进行了 1/20 万的综合性地质及水文地质普查，提交综合性地质及水文地质测量报告。

2) 1960 年冶金工业部勘察公司提交了《代县峨口铁矿选矿厂供水水文地质勘察报告》。

3) 1966 年山西省地质局水文队提交了《芳兰地区及广济渠地区 1/5 万农田供水水文地质勘探报告》。

4) 1966 年山西省地质局水文队提交了《1/5 万忻县系舟山前地区地下水开采条件说明书》。

5) 1967 年山西省地质局水文队提交了《1/5 万山西省代县农田供水水文地质勘察报告》。

6) 1967 年山西省地质局水文队提交了《1/5 万山西省繁峙县农田供水水文地质勘察报告》。

7) 1975 年山西省地质局水文队提交了《1/5 万山西省忻县农田供水水文地质勘察报告》。

8) 1977 年山西省地质局 211 队提交了《1/5 万山西省定襄县水文地质调查报告》。

9) 1977 年山西省地质局水文队提交了《山西省忻县地区水文地质图说明书（1/20 万）》，这次编图工作系统搜集了区内 20 世纪 70 年代中期前的资料，对盆地水文地质条件作了较全面的概略分析研究，采用多种方法进行了分县地下水资源计算，其中忻州盆地区依平均布井法求得地下水可采储量 $302.99 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

10) 1979 年 12 月山西省地质局水文队提交的《山西省定襄县水文地质调查报告》。

11) 1979 年 12 月山西省地质局水文队提交的《山西省定襄县河边水源地初勘报告》。

12) 1981 年忻县地区水利局普查队在代县进行了 1/5 万水文地质详查，提交有《山西省代县地下水资源详查报告》。

13) 1981 年忻县地区水利局地下水普查队在原平市进行了 1/5 万水文地质详查，提交了《山西省原平市地下水资源详查报告》。

14) 1987 年山西省地矿局第三水文地质工程地质队提交了《山西省忻州盆地地下水动态长期观测建网勘察报告》，用降水入渗法求得盆地地下水天然资源量为 $5.8061 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，用平均布井法求得平原区地下水开采资源量为 $3.51 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

15) 1989 年山西省地矿局第三水文地质工程地质队提交了《山西省原平市滹沱河畔供水水文地质普查报告》。

16) 1990 年山西省地矿局第三水文地质工程地质队提交了《山西省原平市南阳—桃园段供水水文地质详查报告》。

17) 1992 年山西省地矿局第三水文地质工程地质队提交了《山西省忻州盆地地下水动态长期观测报告》。

18) 1994 年山西省第三地质工程勘察院提交了《山西省原平市山西第二铝厂生活用水水源地供水水文地质普查报告》。

19) 1997 年山西省水利建设开发中心与忻州地区水资源办公室共同提交了《山西省忻州地区地下水资源开发利用规划报告》。

20) 2003 年 3 月华北有色地质勘查局五一七大队提交的《山西晋北铝厂原平水源地供水水文地质勘探报告》。

21) 2003 年 8 月山西省水资源研究所提交的《山西鲁能晋北铝业有限责任公司 $100 \times 10^4 \text{ t}$ 氧化铝工程水资源论证报告》。

22) 2004 年 9 月山西省第三地质工程勘察院提交了《山西鲁能晋北铝业有限责任公司原平市阳房水源地供水水文地质勘探报告》。

23) 山西省忻县地区水利局地下水普查队提交了《原平市地下水资源详查电法勘探报告》。

24) 山西省忻县地区水利局地下水普查队提交了《山西省代县地下水资源详查电法勘探报告》。

4. 临汾盆地

1) 1978 年, 山西省地质局区域地质调查队提交了 1/20 万临汾幅、侯马幅、韩城幅地质图及说明书。

2) 1975~1978 年, 山西省地质局第二水文地质工程地质队先后提交了 1/5 万襄汾县、新绛县、稷山县农田供水普查报告。

3) 1992 年, 山西省第二水文地质工程地质队提交了 1/5 万乡宁地区煤焦化基地水文地质普查报告。

4) 1996~1997 年, 山西省第二水文地质工程地质队先后提交了 1/5 万曲沃县、新绛县、河津市区域水文地质调查及地下水开发规划报告。

5) 1982~1990 年, 山西省第二水文地质工程地质队先后提交了 1/5 万的详查报告有: 万荣县、绛县农田供水报告; 河津县汾河口水源地及禹门口黄河冲洪积扇东侧地下水资源评价报告; 河津市平原区地下水资源评价报告。

6) 1995 年, 中国地质大学(武汉)提交了 1/5 万洪洞县地下水资源评价及合理开发利用与保护对策研究报告。

7) 1981~1988 年, 山西省第二水文地质工程地质队先后提交了 1/20 万的普查报告有: 侯马幅区域水文地质普查报告; 山西省临汾地区水文地质编图及临汾盆地地下水资源评价报告(其中: 盆地内松散岩类地下水资源评价比例尺为 1/10 万); 山西省南部地热资源普查报告。

8) 1988 年, 山西省地矿局物探队提交了 1/20 万山西省南部断陷盆地地热综合物探成果研究报告。

9) 1988~1993 年, 中国地质大学(武汉)提交了 1/25 万山西省龙子祠泉及郭庄泉、霍泉岩溶水系统研究报告。

10) 1997 年, 临汾地区水资源管理委员会与山西省水资源技术开发研究所提交了临汾盆地地下水开发利用规划报告。

5. 运城盆地

1) 1959 年, 北京地质学院《山西省晋南地区 1/20 万综合地质水文地质测量工作报告》。

- 2) 1964 年, 山西省水文总站《运城盆地地下水动态长期观测综合报告》。
- 3) 1963 年, 北京地质学院《运城盆地第四纪地质发展历史和自流含水层分布规律的研究》。
- 4) 1972 年, 1978 年, 山西省地质局区域地质调查队, 分别提交了 1/20 万运城幅、三门峡幅、韩城幅地质图及说明书。
- 5) 1978 年, 山西省地质局第二水文地质工程地质队提交了运城县、永济县 1/5 万农田供水水文地质普查报告。
- 6) 1979 年, 山西省地质局第二水文地质工程地质队提交了《运城盆地地下水资源评价及其合理开发利用报告》(1/10 万)。
- 7) 1978~1982 年, 山西省地质局第二水文地质工程地质队先后提交了闻喜县、绛县、夏县、万荣县、临猗县 1/5 万农田供水水文地质详查报告。
- 8) 1984 年, 武汉地质学院《山西省运城盆地地下水资源概算报告》。
- 9) 1987 年, 山西省地质局第二水文地质工程地质队《山西省运城市地下水水质评价及水资源保护研究报告》(1/5 万)。
- 10) 1987 年, 山西省地质局第二水文地质工程地质队《山西省运城盆地 1983~1986 年地下水动态观测报告》(1/10 万)。
- 11) 1983~1988 年, 山西省地质局第二水文地质工程地质队先后提交了 1/20 万的普查报告:《山西省运城盆地潜水含氟量与氟中毒分布图说明书》、《运城幅区域水文地质普查报告》、《山西省南部地热资源普查报告》。
- 12) 1987 年, 山西省运城行署水资源管理委员会《运城地区水资源评价成果汇编》(1/50 万)。
- 13) 1988 年, 山西省地矿局第二水文地质工程地质队《山西省永济县黄河沿岸地下水普查报告》(1/10 万)。
- 14) 1998 年, 山西省地矿局物探队提交了《山西省南部断陷盆地地热综合物探成果研究报告》(1/20 万)。
- 15) 1993 年, 山西省地矿局第二水文地质工程地质队《山西省永济县蒲州供水水源地水文地质详查报告》。
- 16) 2000 年, 山西省运城地区水利水保局《山西省运城地区水资源开发利用规划》。
- 17) 2005 年, 范堆相主编《山西省水资源评价》。

6. 长治盆地

长治盆地位于山西省东南部、太行山与太岳山之间, 是山西粮、棉、煤炭的主要产地和重化工基地。长治市位于盆地的东南部, 长治盆地主要研究成果如下。

- 1) 1959 年山西省第一水文队提交《山西省晋东南地区 1:20 万综合性地质水文地质测量报告》。
- 2) 1962 年山西省地质厅 212 勘探队提交《山西省东南部长治盆地水文地质资料整理报告》。
- 3) 1966 年地质部山西省地质局水文地质工程地质队提交《山西省长治盆地农田供水水文地质勘察报告》。
- 4) 1966 年山西省第一水文队提交《山西省长治市城市供水水文地质勘察报告》。
- 5) 1978 年山西省勘察院提交《山西省潞城市山西化肥厂供水水文地质勘察报告》。
- 6) 1985 年山西省东南经济区国土规划办公室等提交《山西省晋东南经济区水资源评价资料汇编》。
- 7) 1987 年山西省地矿局第二水文地质工程地质队提交《山西省晋东南地区水资源综合评价及供需平衡调研报告》。
- 8) 1987 年山西省地矿局、212 地质队提交《长治市城市供水中间报告》。
- 9) 1992 年山西省地质工程勘察院《山西水泥厂潞城市侯家庄岩溶水水源地可行性研究报告》。
- 10) 1994 年山西省地质工程勘察院《山西水泥厂潞城市侯家庄岩溶水水源地供水水文地质勘察报

告》。

11) 长治市水资源管理委员会提交《2004 长治市水资源公报》。

(二) 存在问题

通过以往长期工作的积累,山西六大盆地已取得大量成果,但由于人类活动的影响和自然环境的改变,地下水资源在人类经济发展中所起的作用越来越大。研究认为盆地地下水资源与环境问题的研究还存在以下主要问题。

1) 对盆地松散岩类孔隙地下水的研究,存在不均匀性。有的地方较高,有的地方较低,对全盆地的系统研究较少,尤其是对断陷盆地地质演化历史及盆地内基岩埋藏条件缺乏研究或研究程度较低。

2) 以往工作是根据不同时期的目的任务开展的,投入的工作量以水文地质钻探勘探为主,手段单一,新技术、新方法、新理论应用较少。

3) 调查目标单一,以往盆地多侧重地下水资源方面的调查,忽视了与地下水开发利用有关的环境问题的调查研究工作。

4) 以往多数勘察项目研究范围以行政区为单元,而不是以盆地地下水系统为单元,人为界定边界给地下水资源计算造成很多问题,如水量重复计算,忽略了相邻地区的影响和边山地带裂隙水、岩溶水的补给量等。

5) 缺少对盆地地下水形成演化的研究,对地下水系统的补、径、排关系的认识具局限性。地下水经过几十年的开发利用,其水化学场、水动力场、补、径、排条件等都有许多改变,其变化过程和演化规律的研究对更加科学合理地利用地下水资源具有重要的意义。

6) 以往对地下水资源的评价主要注重水资源量的评价,而对全盆地水质方面的评价、地下水功能方面的评价及地下水资源潜力的评价等都比较欠缺。

7) 限于当时工作条件,缺乏计算机技术的应用,没有建立地下水资源方面的数据库,对成果数据的管理和应用带来极大的不便。成果基本都是纸介质的,不便于保存、更新和利用。

三、工作方法及完成工作量

(一) 工作方法

工作方法包括野外工作方法和综合研究方法。

野外工作方法主要有水文地质环境地质调查常规方法和水文地质物探方法。常规方法主要包括水文地质环境地质调查,水样、土样、同位素样采集,水位动态监测,抽水试验、灌溉入渗试验等常规方法。水文地质物探方法采用地面电法浅震等方法了解盆地边界及深部水文地质条件,地面电法按 1/10 万精度开展,控制深度 500 m。激电测深 AB 距 1 000 m,点距 1 000 m,视电阻率测深 AB 距 1 000 m,点距 1 000 m。

综合研究方法主要采用同位素技术、遥感技术、三维数值模拟技术、空间信息系统等技术按照中国地质调查局和中国地质科学院水文地质环境地质研究所下发的《全国地下水资源及其环境问题调查评价技术要求系列》、《综合研究工作方案》开展工作。同位素方法:采集¹⁴C、D、T、¹⁸O 等同位素水样,研究地下水的同位素组分,结合水文地质条件和其他方法,以确定地下水的成因、年龄、径流途径和补排关系等,提高对地下水系统结构的认知程度和研究水平。遥感技术:采用 SEBS 软件、美国 NOAA 数据对地表蒸发量进行计算,以准确掌握盆地区的蒸发量。三维数值模拟模型:运用三维数值模拟技术建立盆地地下水资源评价模型,使得对盆地水文地质条件的概化更逼近客观实际,从而提高评价、预测结果可靠程度。空间信息系统技术:应用 GIS 空间分析技术、空间数据库技术,构建盆地地下水资源动态评价技术平台。

(二) 完成工作量

山西六大盆地完成实物工作量情况见表 1。

表 1 山西六大盆地完成工作量统计

工 作 项 目	单位	太原盆地		大同盆地		忻州盆地		临汾盆地		运城盆地		长治盆地	
		设计	完成	设计	完成	设计	完成	设计	完成	设计	完成	设计	完成
1：25 万区域水文地质调查	km ²	10 000	10 000	7 440	7 440	3 597	3 597	17 532	17 667	5 941	6 140.6	1 976	1 976
1：25 万区域环境地质调查	km ²	10 000	10 000	7 440	7 440	3 597	3 597	17 532	17 667	5 941	6 140.6	1 976	1 976
遥感解译	km ²	6 159	6 159	7 440	7 440	3 597	3 597	6 284	6 284	5 941	5 941	1 976	1 976
地下水位长观（长期观测，后同）	点次	3 600	45 000	3 420	3 993	60 眼	60 眼	100 眼	104 眼	110 眼	110 眼	1 440	1 440
地表测流	台班	166	166	54	7 个水文站测流资料	12 条次	12 条次	5	5	10	10	10	10
水质全分析	件	100	100	230	231	180	180	220	221	280	280	170	170
水质专项分析	件	50	50	50	51	20	20	30	30	110	110	40	40
土样	件	50	57	100	100	75	75	100	101	100	100	80	80
同位素（T、D、 ¹⁸ O）	件	150	150	100	100	50	50	120	120	120	120	50	50
同位素（ ¹⁴ C）	件	30	30	30	30	20	20	20	20	20	20	10	10
视电阻率测深：AB 距 1 000 m，点距 1 000 m	点	200	200	129	130	63	83	108	217	350	352	100	100
浅层地震反射波六次叠加法炸药量 5 kg，孔深大于 5 m，道间距 10 m	点	100	100										
激电测深	点			28	28			24	28	35	42	40	40
音频电场法	点			645	617		606						
可控源音频大地电磁测深	点			34	调整为 2 km 浅震								
水文地质钻探	m	600	601										
非稳定流抽水实验	台班	84	84	6 组	6 组	5 组	6 组	5 组	5 组	5 组	5 组	1 组	1 组
灌溉入渗试验	台班	50	50										
水文地质图数据库		完成 1/25 万数字化图件 21 张		完成 1/25 万数字化图件 21 张		完成 1/25 万数字化图件 28 张		完成 1/25 万数字化图件 28 张		完成 1/25 万数字化图件 28 张		完成 1/25 万数字化图件 17 张	
设计论证编写	份	2003 年编制设计书 1 份		2004 年编制设计书 1 份						2005 年编制设计 1 份			
综合研究报告	份	提交六盆地综合研究成果 1 份，分盆地提交研究成果各 1 份											

四、工作质量评述

山西六大盆地的调查工作是 2003 年开始的, 2003 年开展太原盆地调查, 2004 年进行大同盆地、忻州盆地和临汾盆地的工作, 2005 年开展长治盆地和运城盆地的调查工作。主要实物工作内容有水文地质环境地质测绘、动态观测、水样土样同位素样的采集、物探、钻探、遥感和数据库建设等内容。以下对每项工作质量进行评述。

（一）水文地质、环境地质测绘

水文地质、环境地质测绘采用 1/5 万和 1/10 万地形图做野外调查底图，野外调查点经、纬度均采用 GPS 定位，地面高程利用 GPS 结合地形图综合确定。重点调查盆地地区开采井分布、井深、水位、涌水量等情况，对区内及周边地区的水文地质条件也进行了调查。调查内容较齐全、翔实、准确、可靠。地下水位统测分枯水期与丰水期两次进行统测。水位测量方法采用微安表测量（两次以上观测），并定时用钢卷尺校正测线，读数误差不超过 2 cm。

（二）动态观测

对盆地内已有长观资料进行系统搜集，对新布的观测孔进行了年度观测，水位监测频率一般为每 10 d 观测一次，有的孔为每 5 d 一次。

（三）水样、土样及同位素样的采集工作

盆地内系统采集了不同深度、不同层位的孔隙水、岩溶水、裂隙水、地表水水样，氢氧同位素样，碳同位素样，岩土样等，分别作水化学分析、同位素、土壤分析等。水土样采集均按国家行业规范、细则执行。全分析、专项水样及土样由具有测试资格的省内测试机构分析测试，同位素 D、 ^{18}O 、T、 ^{14}C 分析项目由中国地质科学院水文地质环境地质研究所和岩溶所分析测试。

（四）物探

物探野外生产完全按照有关规范执行，并且按比例做了质量检查点检查。室内对外业资料进行了全部校核，并应用计算视真电阻率的方法对所有测点曲线进行了计算。图件制作数据是仪器的机械记录程序化自动下载，并且按程序自动描绘曲线图、剖面图。经制图分析解译后，给出盆地深层孔隙含水层的富水区推测分区。

（五）钻探

钻探总工作量 601 m，其中水文地质钻探 501 m，灌溉入渗试验孔 100 m，水文地质钻探孔布盆地中部清徐孔村。其中 100 m 灌溉入渗试验孔分别布在小店部村、小店乌金山乡杨盘村、汾阳市贾家庄乡东马寨村，共完成水文地质试验孔 23 个。分别取不同深度原状土做给水度测试，测试结果为 0.16~0.22。

野外钻探孔斜、填粒、止水等成井工艺均满足规范要求，并进行了抽水试验和物探测井。

（六）抽水试验

每个盆地均开展了抽水试验工作，抽水试验采用非稳定流频率进行观测，抽水设备为原井配套，均带有一个观测孔。并观测了恢复水位，水位观测采用微安表，测量误差不超过 2 cm。流量均采用三角堰观测，三角堰水位观测堰高精确到 1 mm，抽水试验记录准确、全面。对取得的观测数据应用 aquifertest 软件采用多种方法进行了水文地质参数计算。

（七）遥感

与中国地质大学（北京）合作，运用先进的计算机软件，应用遥感数据解译盆地区植被发育情况并计算盆地浅层水蒸发量。针对盆地的具体情况整个研究工作可分为 3 个方面，一是通过 NOAA 卫星遥感图像，结合相应时段地面气象站的有关资料，运用表面能量平衡系统，计算研究区的蒸发量，研究山西盆地蒸发量的变化特征；二是应用 ENVI 软件和 ARCVIEW 软件，通过遥感图像获取研究区土地利用等区域变化信息；三是通过 ASTER 卫星数据，结合相应的地质资料，分析研究区地表土壤和岩性特征，为盆地结构的划分提供依据。技术方法先进，计算结果可信。

（八）数据库建设

将搜集到的钻孔资料、动态资料、气象资料和水文资料及本次工作调查取得的数据进行了录入，建立了本区的动态评价平台。

项目开展的各项工作严格按照任务书、设计书、大区所和项目办的各项要求进行，严格执行国家