



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

银川平原地下水资源 合理配置调查评价

中国地质调查局

吴学华 钱 会 郁冬梅 张 钦 闫子忠
王 玮 姬亚东 刘惠敏 毛自力 赵 青 等著

地质出版社

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

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	

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以及自主研制的PGMS软件建立了各平原盆地的区域地下水水流数值模型,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个应急水源区;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,提出了不同条件下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和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、林学钰院士、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、项目的由来与目标任务

(一) 项目的由来

“银川平原地下水资源合理配置调查评价”是“全国地下水资源及其环境问题调查评价”项目中的子项目,2003年3月20日,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“中国地质调查局地质调查工作项目任务书”(编号:水[2003]001—16),将工作项目任务下达给宁夏地质调查院(2007年变更为“宁夏回族自治区地质环境监测总站”)。

工作项目名称:银川平原地下水资源合理配置调查评价。

工作项目编码:200310400014。

所属计划项目:全国地下水资源及其环境问题调查评价。

实施单位:中国地质科学院水文地质环境地质研究所。

工作性质:资源评价。

工作起止年限:2003~2005年。

承担单位:宁夏回族自治区地质环境监测总站。

通过三年的工作,在总结2003年度、2004年度和2005年度工作的基础上,通过综合分析和研究,编写了“银川平原地下水资源合理配置调查评价报告”。本书是在此报告基础上编写而成。

(二) 目标任务

1. 总体目标任务

查明地下水补、径、排条件变化特征及其相关的环境地质问题与成因。建立银川平原地表水地下水配置模拟模型,结合社会经济发展规划和工农业生产现状等,优化水资源配置及开发利用方案。为水资源合理配置、促进水资源与生态地质环境的和谐、国土资源综合规划提供地质依据,为全国地下水资源及其环境问题综合评价提供基础资料。

2. 各年度工作任务及实物工作量

(1) 2003年度工作任务及实物工作量

1) 工作任务。①开展工作区地下水补给、径流、排泄变化特征、地表水地下水开采利用现状、水位动态以及与水资源开发利用有关的盐渍化、湖泊湿地、荒漠化等环境地质问题的调查。②初步建立银川平原地表水地下水优化配置模型。③筹建银川平原地下水系统空间数据库。

2) 主要实物工作量。①地下水水位统测1210次/605点,地表引流量测量12次,地下水开采现状调查5000 km²。②银川平原重点区盐渍化、荒漠化和湖泊湿地调查1×10⁴ km²。③水化学、同位素、岩土样等测试200件。

(2) 2004年度工作任务及实物工作量

1) 工作任务。①继续收集整理地质、水文地质钻孔等资料,完善地质空间结构模型,开展综合研究。②开展地下水动态监测工作,继续开展地下水补、径、排条件和变化特征、地下水地表水开采利用现状及与生态地质环境相关的调查。③初步建立银川平原水文地质模型和水资源优化配置模型。④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;调查评价地下储存空间和入渗条件,开展地下水调蓄能力评价。⑤建立银川平原地下水空间数据库。

2) 主要实物工作量。①1:25 万水文地质调查 3000 km²; ②各类水土样品 430 件。

(3) 2005 年度工作任务及实物工作量

1) 工作任务。①完成各类野外调查, 重点开展地下水系统的空间分布与结构、地下水补、径、排条件和演变过程, 地下水开发利用现状, 水文地质参数等的综合研究工作。②完善盆地地质结构模型和水文地质结构模型, 建成银川平原水资源优化配置模型, 提出水资源优化配置方案。③完成平原内与地下水相关的环境与生态问题的分析、成因及演化过程的调查评价。④完成地下水的资源、环境功能、生态功能与调蓄能力调查评价。⑤完成银川平原地下水资源与环境问题空间数据库, 参与地下水资源动态平台建设, 提供所需数据资料。

2) 主要实物工作量。①1:25 万水文地质调查 2000 km²。②水化学、同位素样品各 100 组。

二、工作区以往研究程度及存在的问题

(一) 以往研究程度

新中国成立 50 多年来, 前人在银川平原开展了大量的水文地质工作(表 1、图 1), 基本查清了区域内水文地质条件和地下水资源的分布, 通过试验所取得的各项参数比较齐全, 对不同时期分地区进行了地下水资源评价。在地下水资源评价、管理、土壤盐渍化改良及环境地质工作方面取得和积累了比较丰富的资料。

表 1 宁夏银川平原水工环主要工作成果一览表

工作类型	序号	报告名称	比例尺	承担单位	提交年份
水工环普查	1	石嘴山幅区域水文地质普查报告	1:20 万	宁 00912 部队	1980
	2	巴伦别立幅区域水文地质普查报告	1:20 万	第一水文地质队	1980
	3	石嘴山地下水监测环境水文地质调查报告	1:5 万	宁夏地质环境监测总站	1988
	4	银川幅综合水文地质图及说明书	1:20 万	第一水文地质队	1991
	5	吴忠幅综合水文地质图及说明书	1:20 万	第一水文地质队	1991
地下水监测	6	大武口地区地下水动态长期观测及成果报告	1:5 万	宁夏地质环境监测总站	1987~2002
	7	银川市地下水动态长期观测及成果报告	1:5 万	宁夏地质环境监测总站	1987~2002
工农业供水及综合勘察	8	贺兰山东麓供水水文地质勘察报告	1:10 万	第一水文地质队	1966
	9	灵武火电基地供水水源可行性研究报告	1:10 万	第一水文地质队	1985
	10	银川市水文地质环境地质工程地质综合勘察报告	1:5 万	第一水文地质队	1990
	11	大武口地区供水水文地质勘察报告	1:5 万	第二水文地质队	1992
	12	银川平原农业生产基地地下水资源及农业地质综合勘察评价	1:10 万	第一水文地质队	1992
盐渍土改良	13	银北地区盐渍化土壤改良水文地质勘察报告	1:10 万	第一水文地质队	1984
综合调查综合研究	14	银川平原水文地质图系及说明书	1:10 万	第一水文地质队	1974
	15	银川地区地下水资源管理模型研究		第一水文地质队	1989
	16	银川平原各县(市)区域水文地质调查	1:10 万	宁夏地质环境监测总站	2000
	17	银川盆地地热资源调查评价报告	1:20 万	宁夏地质调查院	2000

1:20 万银川幅、石嘴山幅、巴伦别立幅和吴忠幅区域水文地质普查报告, 基本上覆盖了银川平原, 查清了平原及周边地下水的形成条件和分布, 并采用多种方法对地下水资源进行了评价。宁夏地质环境监测总站自 1986 年至今的 20 几年时间里, 对银川市、石嘴山市地下水动态进行了监测, 积累了丰富的地下水水位动态和水质动态资料, 从而给本次地下水动态评价奠定了基础。以工农业供水为目的的综合勘察, 对平原内局部地段地下水进行了详细勘察, 并通过抽水试验, 取得了可靠的水文地质参数, 是本次地下水资源评价参数选取的主要依据。银北地区盐渍化土壤改良水文地质勘察报告, 通过对地下水位的合理调控进行了地下水资源评价, 是对平原内盐渍化改良唯一的示范研究。银川平原各县(市)区

域水文地质调查,通过总结前人研究成果,在平原内以行政单元为单位对地下水资源进行了重新评价,它将是本次工作中研究地下水开采量动态变化的宝贵资料。

另外,银川平原内开展的地热资源调查评价,完成了两眼地热井的勘探,填补了宁夏地热资源的空白;同时,通过调查和勘探试验,对地热资源进行了评价,这对进一步分析研究平原内第四系地层的变化补充了更为翔实的资料。

(二) 存在的问题

1) 以往的水文地质调查,一般是重视地下水赋存条件的勘查研究,受技术手段和工作精度的限制,对地下水含水层结构和地下水补给、径流和排泄条件的研究不够深入;对水文地质条件的认识及水资源的评价,还停留在定性或半定量的水平上,难以适应目前经济建设的需要。

2) 由于受调查程度的限制,对地下水系统结构研究和地下水动态变化的认识系统性不足,难以满足全面建设小康社会的发展需要。

3) 对地下水资源合理开发利用与生态环境之间的影响关系仍然缺乏深入的研究,缺乏合理的管理机制。

4) 地下水评价工作,仍然缺乏对未来30~50 a预测能力,难以适应国民经济发展对地下水评价前延性的要求。

5) 由于受勘探技术的局限,以往水文地质勘察多集中在250 m以上含水层,对250 m以下承压水的形成与循环特征及其可利用性认识不够;对第四系厚度、岩性、结构、富水性和水质等条件仅有物探剖面推测资料,没有实际勘探数据。含水层基本没有勘探孔控制。

6) 对平原地下水的动态监测只控制了银川市和石嘴山市大武口区,对全平原没有监测孔控制,缺乏整个平原区地下水系统的动态观测资料。

7) 由于近几年来引黄水量的变化,加上平原区内水利工程的修建,将改变地表水和地下水的循环条件,使得地下水系统发生变化,对生态环境有一定的影响,急需开展相关的研究工作。

8) 对水资源开发利用过程中引起的水质恶化、土地盐渍化、土地沙漠化以及湖泊湿地面积的萎缩等环境地质问题缺乏系统研究。

三、工作方法与完成的工作量

(一) 工作方法

1. 技术思路

本项目立足于以银川平原地下水资源形成、分布及水循环的先进理论为指导,采用先进的试(实)

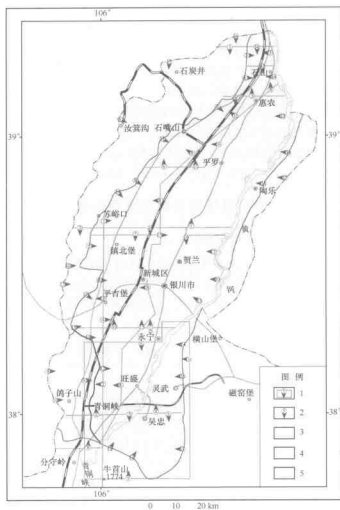


图1 银川盆地水工环地质研究程度图

1—研究范围; 2—资料编号; 3—基岩山区; 4—丘陵、台地;

5—平原; 黄线为公路

验、监测和分析技术作为基本手段,充分借鉴以往研究成果,揭示银川平原地下水形成和演化规律;同时对地下水资源数量、质量和时空分布的变化进行研究,建立银川平原地下水三维渗流数值模型及地表水地下水优化配置模型,结合社会经济发展规划和工农业生产现状等,优化水资源配置及开发利用方案。为水资源合理配置、促进水资源与生态地质环境的和谐、国土资源综合规划提供地质依据,为全国地下水资源及其环境问题综合评价提供基础资料。

2. 工作部署原则

本项目工作起止年限为2003~2005年,工作周期为3a。工作部署紧紧围绕查明地下水补、径、排条件变化特征及相关的环境地质问题及成因;在建立银川平原地质模型、地下水系统空间结构模型、水文地质概念模型的基础上,结合工农业生产现状和社会经济发展规划,最终建立了银川平原地下水流数值模型及地表水地下水优化配置模型,为水资源合理配置,促进水资源与生态地质环境的和谐、国土资源综合规划提供水文地质依据的总目标任务进行部署。即在充分搜集研究前人资料的基础上,通过补充野外调查、试验、地球物理化学勘查,从参数研究入手,围绕黄河水与地下水资源联合开发问题,以生态环境地质问题为约束条件,开展水资源合理配置研究,最终完成本项目的目标任务。

3. 工作重点

1) 全面搜集前人资料,开展综合研究。全面搜集银川平原地质、区域水文地质、水源地质、环境地质、农业地质、水文、气象、土壤调查、引黄灌溉、社会经济发展规划和工农业生产现状等资料,开展综合研究,建立起银川平原地质模型和地下水系统空间结构模型。

2) 为建立银川平原地下水流数值模型及地表水地下水优化配置模型获取基础资料,研究银川平原潜水含水层地下水水位与生态地质环境之间的相关关系,重点布置以下工作。

A. 调查地下水补、径、排条件。①开展银川平原浅层地下水水位统测;②开展银川平原地下水开采现状调查;③开展银川平原周边沟谷地表水测流;④开展银川平原地下水动态监测;⑤开展银川平原内沟道排水量调查;⑥开展银川平原内灌溉量调查;⑦对银川平原黄河段黄河水流量及水位调查。

B. 环境地质调查。①开展银川平原沙漠化调查;②开展银川平原湖泊湿地、盐渍化调查。

C. 专项试验。进行银川平原不同地貌部位非饱和带水分与盐分参数试验。

3) 进行室内综合研究,完成银川平原地下水流数值模型及地下水资源合理配置模型、数据库建设和最终成果的编写。

4. 工作方法

本次工作方法包括资料收集与综合研究、遥感解译、水文地质环境地质调查、水土样品分析测试、试验场水文地质参数试验、水文同位素研究、地下水水位统测、地下水动态监测、数值模拟等。

(二) 完成的工作量

2003~2005年度设计工作量和实际完成的工作量见表2,从表2中可以看出实际完成的工作量达到或超过任务书和设计要求的工作量。

四、工作概述及质量评述

(一) 工作概述

1. 资料搜集

2003~2005年主要收集银川平原已有的各类地质、水文地质、环境水文地质、水文、气象、土地利用现状、国民经济发展等方面的资料,工作中尤其着重收集了前人的钻孔资料、地下水动态监测资料及各供水水源地的资料,共收集各类资料103份(表3)。共收集各类钻孔资料1032个,其中有784个钻孔资料齐全,深度大于100m以上的钻孔有568个,有22个钻孔揭露了前第四系地层。

表 2 2003~2005 年完成实物工作量汇总表

项 目		单位	2003 年工作量			2004 年工作量			2005 年工作量			总工作量
			设计	实际	完成率 %	设计	实际	完成率 %	设计	实际	完成率 %	
1:25 万 水文环 境地质 调查	1:25 万水文地质调查	km ²				3000	3000	100	2000	2000	100	3000
	开采量调查	km ²	5000	5000	100	全区	全区	100				全区
	河谷测流点	点	12	12	100							12
	水位统测	次	1210	1426	100	480	480	100				1906
		个	605	713	100	240	240					845
1:10 万 环境地质 典型地段 验证调查	湖泊湿地野外验证面积	km ²				100	100	100				100
	盐渍化野外验证面积				1800	1800	100				1800	
	荒漠化野外验证面积				500	500	100				500	
	动态观测	点				90	90	100				90
次					6480	4860	100				6480	
专项试验数据的 监测与采集		孔				36	36	100	36	36	100	36
		次				2430	2430	100	32400	39420	100	41850
水位统测点高程测量		点				7	20	286	125	125	100	145
水、土样测试	全分析水样	组	190	190	100	300	357	118	100	102	100	649
	同位素	组	10	29	290				150	152	100	161
	土样	组				130	130	100				130

表 3 本次实测资料及前人资料一览表

资料	资料名称	数 量
本次实测资料	水文地质野外调查本	13 本, 共 614 个调查点
	机(民)井调查表	10 册, 共 1562 眼
	地下水水位统测调查表	4 册, 共 713 点/2852 次
	水质分析检验报告单	4 册, 557 组
	可溶盐分析检验报告单	1 册, 130 件
	专项试验监测数据	7 册, 共 36 个土柱/22680 次
	地下水动态监测资料	2 册, 共 90 点 6480 次
前人资料	数据库录入钻孔资料	3 册, 共 300 孔
	水样采样登记表	2 册, 共计 508 点
	地下水位动态监测资料	34 册
	水质分析综合成果表	3 册, 735 孔
	水文地质钻孔综合表	8 册, 共 1032 孔
	水文地质资料	30 份
	水源地报告	18 份
	气象资料	5 个站 1970~2003 年
	干渠引水量资料	10 条
	抗旱打井资料	7 份
前人资料	水利及土地利用现状资料	6 份
	国民经济及发展规划资料	23 份
	区外相关报告	18 份

2. 地下水补径排条件及其变化过程调查

(1) 水位统测、沟谷测流

地下水补径排条件及其变化过程调查主要开展了水位统测、沟谷测流、同位素和水化学样的采取等工作。水位统测分别于2003年、2004年进行了丰水期、枯水期共2852次/713点和480次/240点；于2003年对银川平原周边常年性沟谷进行测流工作12个。共采取全分析水样649组，同位素水样161组，土样130组。完成了2003年、2004年潜水、承压水丰水期、枯水期水位埋深等值线图和等水位（压）线图，并通过1987年、1997年和2004年的遥感资料对各期水位埋深进行了对比分析。

另外，于2003年11月，在银川平原安排部署了90个长期监测孔按5天一次的频率进行了1个水文年的地下水位动态监测，基本查清了银川平原的地下水位动态变化情况。

(2) 开采量调查

2003~2005年开展了银川平原地下水开采现状调查，主要包括城市供水源地、工矿企业等机井的开采量调查，同时重视了地下水开采井资料的收集。另外，对平原区内沟渠的引排水量进行了调查。完成了银川平原范围内18个水源地和1501眼机井地下水开采量调查，调查了开采井的开采量、用途、地下水类型等，完成了设计工作量。

(3) 地下水资源量、可开采资源量评价工作

通过对1984年、1991年两轮地下水资源评价报告的分析研究，对银川平原地下水资源和可开采资源量进行了系统整理，摸清了近20a来地下水资源的变化情况，为本次水资源的评价奠定了基础。

地下水资源量及可开采资源量的评价工作主要使用均衡法和数值法来进行。数值模拟不但是开采资源量计算的主要方法，而且是水资源合理配置模型的基础，主要完成了以下工作。

1) 建立了研究区的含水层结构模型，在研究区确定了三个含水岩组，并分别绘制了其顶底板等值线及含水层厚度、弱透水层厚度等值线。

2) 使用1:5万地形图确定了研究区的地表数值高程。

3) 建立了研究区的水文地质概念模型。

4) 根据水位统测结果，确定了研究区三个含水岩组2003年7月、2004年3月及7月、2005年3月的水位等值线图。

5) 对研究区进行了参数分区，初步确定了水流模型中的相关水文地质参数。

6) 确定了模型校正期的地下水开采量，第一类边界的边界水位，第二类边界的边界流量。

7) 收集并整理了相关的气象、水文资料。

8) 整理了420个钻孔资料，其中潜水钻孔249个，第一承压水钻孔142个，第二承压水钻孔29个，为地下水模拟模型的校正奠定了基础。

9) 使用Visual Modflow软件建立了研究区的地下水流数值模型，采用500 m×500 m的网格对研究区进行了剖分（173行×329列），在研究区内共剖分出了5层，每层未知节点个数26462个，5层的未知节点总数为132310个。

10) 设计了123个地下水流数值模型计算方案，针对银川平原水资源开发利用中的突出问题，开展了方案的对比、分析及研究工作，提出了银川平原水资源合理开发利用的综合对策。

11) 建立了银川平原水资源优化配置模型，优化了平原地下水和地表水资源的配置，提高了水资源的利用效率，同时也有利于平原生态环境的改善。

(4) 地下水功能评价工作

根据《全国地下水资源及其环境问题调查评价技术要求（二）》，结合银川平原水文地质和生态环境条件，选取和建立银川平原地下水功能评价的指标体系。在评价区共划分了8个地下水功能评价分区，按1 km×1 km进行了单元剖分，共得到有效计算单元6476个；由项目组组织专家根据各要素层的相对重要性对逐层逐分区进行打分，然后取平均值作为评价最终采用的分值建立判断矩阵，建立了判断矩阵96个；并按GFS软件输入要求形成判断矩阵文件，将各类数据文件输入程序；通过软件计

算,得到层次结构中各评价指标的综合指数。然后按照《技术要求》中各指标的分级原则,在 MAPGIS 中采用 Kring 插值法绘制了地下水功能评价成果图。在此基础上,对地下水功能的 4 个属性层 16 个要素指标层进行了评价,最后结合地下水资源功能、地下水生态功能和地下水地质环境功能评价结果进行了地下水资源综合功能区划,共划分二级区 2 个,三级区 7 个。

(5) 地下水资源评价参数调查工作

自项目开展以来,加强了资料的收集和利用,共收集了银川平原水文地质资料近 30 份和水源地报告 18 份;结合大量的钻孔资料,对地下水资源评价参数进行了系统的分析和研究,确定了水文及各地下水含水层的参数值。

另外,为获取银川平原内主要均衡要素(降水入渗补给、农灌回归补给、潜水蒸发蒸腾等)计算所需的参数(入渗补给系数、潜水蒸发极限深度、潜水蒸发排泄量与水位埋深间的关系等),2004 年在平原区建立一个专项试验场,利用地中渗透仪开展试验研究工作。

试验选取 3 种不同岩性的土壤,控制水位埋深分别为 0.8 m、1.3 m、2.3 m、3.3 m、4.3 m、4.7 m,分别在自然条件下(隔离降水)和植被条件下进行试验研究,获取有关降水入渗、潜水蒸发蒸腾、凝结水补给等参数,确定不同岩性土壤的极限蒸发深度、产生土壤盐渍化的最低水位。这样共建立了 $3 \times 6 \times 2 = 36$ 个土柱。每个土柱每天早中晚观测蒸发、入渗量各一次,监测周期为一年。

(6) 地质结构模型和水文地质概念模型建设工作

在全面系统地分析区内地形地貌、地质、水文地质、水文、气象、水资源利用现状以及水循环条件、水化学场、水动力场特征的基础上,对计算区域、含水层的类型、结构、厚度、导水特征、介质状况(均质和非均质、各向同性和各向异性、孔隙、裂隙和双重介质)、渗流的维数、水流状态(稳定流和非稳定流、饱和流和非饱和流)、边界条件和初始条件等进行全面、合理地概化,建立起了银川平原地质模型和水文地质概念模型,通过数字高程模型建立了水文地质空间结构模型,并对地表水地下水资源合理配置方案进行初步研究。

(7) 水资源优化配置模型研究工作

1) 全面收集了银川平原 1999~2004 年的人口、工农业发展、国民生产总值、农田、林地、水浇田、水田用水量等方面的资料,并且分县区对其进行了整理。

2) 根据历史资料,对银川平原直至 2020 年的农业、工业及生态用水量进行了初步预测。

3) 确定了水资源优化配置模型的优化目标:就是以生态环境保护和水资源可持续利用为依据,在满足工农业用水的条件下,以调控地下水位、改善生态环境,减少水资源的浪费为目的,通过对工农业、生态环境用水以及地表水与地下水联合开发的合理配置,达到既能满足人口增长、经济发展对用水量不断增长的要求,又能缓解生态环境恶化的目的。

4) 初步确定了土壤盐渍化地区的地下水位调控目标。根据“宁夏贺兰县江南村盐碱土改良及中低产田改造综合试验研究报告”,可采用两种方式来解决土壤盐渍化问题。第一种是非灌期地下水位在 3.1 m 以下,灌期在 1.9 m 以下,如果实现了这一目标,盐渍化土壤可得到根治;第二种是非灌期地下水位在 2.0 m 以下,灌期在 0.5~1.2 m 以下,这样,土壤盐渍化问题可得到基本解决。

(8) 地下水资源调查数据库系统录入工作

对三年来的原始资料和成果资料按“技术要求”的规定进行了数据库录入,完成了三年来任务书和设计书安排工作量的数据库建设。

(二) 质量评述

宁夏地质调查院已通过 ISO 9001 质量体系认证,建立了质量保证体系,2004 年又顺利通过换版。项目组在院质量管理部门的统一指导下开展工作,执行院颁发的质量管理体系文件,认真履行“任务书”和“设计书”要求,强化各工序质量控制,按照有关规范、规程和指导文件开展各项工作,保证了调查工作的质量。

在项目实施过程中,严格执行了中国地质调查局在国土资源大调查项目的有关规定和中国地质科

学院水文地质环境地质研究所项目管理办公室的管理规定,质量控制严格履行《中国地质调查局地质调查项目管理制度汇编》。在执行项目“总体设计书”的同时,严格按照“银川平原地下水资源合理配置调查评价”各年度任务书和设计书要求组织生产工作,所取资料经自检、互检和项目办公室组织专家检查验收,认为符合任务书下达的要求,各项工作技术指导均满足各年度设计书的要求,部分工作量因工作需要略有超额,提高了工作精度,保证了项目的连续性和统一性。

针对本次项目的特点和技术要求,由中国地调局和项目办组织并聘请专家进行了各种形式的专题研讨和技术指导,并与科研院所进行了项目协作和技术合作,充分利用近年来新的学术研究成果,采用科研与生产、理论与实践、野外与室内研究“三结合”的原则,广泛采用新技术、新方法的组合运用,大大提高了工作效率,丰富了工作内容,提高了研究工作精度。

新技术、新方法的运用是本次调查评价工作的一个重要特色。采用包括遥感技术(RS)、全球定位技术(GPS)、地理信息系统(GIS)的“3S”技术以及水化学与同位素技术,并采用了地下水三维非稳定流数值模拟和地下水系统理论的组合运用,对地下水资源的合理配置进行了研究,确定了银川平原地表水地下水资源的综合管理模式。

为了保证总体成果质量,围绕上述思路在工作方法方面主要采用了收集资料、综合研究、遥感解译、补充水文地质调查、水土岩样的采取及测试、地下水动态监测、地下水水位统测、机井开采量调查、控制性水点高程测量、地理地图数字化、地下水资源评价、水文地球化学和同位素等一系列方法。

在综合研究方面,根据总项目要求,成立了项目综合研究组,与熟悉本地区情况具有丰富工作经验的科研院所的老师并肩参加综合研究。鉴于本次项目特点和技术要求,广泛应用多部门多学科资料,加强基础地质资料的二次开发,编制工作区基础性背景图件,建立水文地质概念模型,及时调整调查方案,合理使用工作量,为调查工作总体部署提供依据,发挥实际效益。在认真学习近年来本学科出版和发表的专著、专业报告、学术论文外,对收集到的资料进行对比、整理和二次开发,尤其是对收集到的大量水文地质钻孔进行了分类整理,利用先进的计算机信息技术和 MAPGIS 制图分析技术,围绕总体成果编制了大量的分析性图件与资料卡片和总体报告。

在空间数据库方面,在分析、整理各类资料的基础上,利用信息平台完成了数据表录入,经过数据汇总和全面检查,从而完成了地下水空间数据库的建库工作。在2006年2月在水文地质环境地质研究所提供的最新系统软件上进行检查,数据库完成合格率较高,本次数据库的建库工作基本上达到了预计的目标。

五、本次工作特点与解决的主要问题

(一) 工作特点

1. 充分利用已有成果和资料

不同时期、不同部门曾在银川平原开展了大量的区域地质和水文地质普查、勘探、试验和专题研究工作,积累了较为丰富的基础资料。充分利用工作区内已有的地质、水文地质和环境地质成果,全面收集和利用气象、水文、地质、水利、农业、林业及其科研部门的资料进行综合研究,是本项目工作的基本方法。

2. 野外实地调查与新方法相结合

野外调查除采用传统的实地野外调查、采样和试验研究为主的方法外,充分利用同位素、“3S”等新技术方法。野外调查点采用卫星定位。利用地理信息数据和图形采集、储存及其强大的空间分析功能,剖析水循环演化特征以及地下水开发利用之间的关系。利用遥感技术提供的区域水文地质演化的信息,了解土地荒漠化、盐渍化、湖泊湿地的萎缩及河道的分布和变化情况。利用同位素技术,重点采用 D、T、 ^{18}O 、 ^{13}C 和 ^{14}C 等同位素测年技术,在典型剖面上以地表水和地下水点、浅层水和深层水及湖泊湿地和排水沟道为重要调查点,揭示大气降水入渗补给地下水演化时间序列特征及补给强度变化规律,识别地下水的主要补给期,研究百年尺度大气降水补给地下水的周期性及其与区域水环

境演化之间的关联性。重点查清银川平原水循环系统演化规律和各含水层之间、地表水与地下水之间的水力联系;查清银川平原生态环境的演化规律。

3. 采用数值模拟方法,探索水资源利用的合理模式

根据本项目的研究目标和任务,采用国内外先进的三维非稳定流模型研究软件,从参数研究入手,对第二轮地下水水资源评价结果进行修正和补充,采用三维非均质非稳定流模型研究地下水动力场。通过大量计算方案的对比分析,找出在激发条件下既能满足生态用水、又可避免土壤盐渍化的水资源合理开发利用对策,提供地下水的潜在资源量与开采布局以及水资源利用的合理模式。

4. 研究成果体现信息化和可视化

最终成果提交银川平原水资源空间分析系统,该系统建成后具有数据采集、输入、输出、处理、管理、查询、检查、通讯、更新、维护、统计、分析、模型管理及图件、表格输出等功能,为水资源合理开发利用与环境保护适时提供信息支持。本项目紧扣影响区域经济发展和环境保护的水资源合理配置问题,研究内容和研究成果强调创新性。

(二) 解决的主要问题

1. 构建了银川平原地下水循环系统

银川平原地下水循环模式概化为:平原山前洪积扇接受山区侧向径流及地下水、大气降水的入渗补给,在向下游径流过程中,逐渐分化为浅层局部地下水流和深层区域地下水流;区域地下水流继续向东、北东向水平流动,在冲积、冲洪积平原通过越流、人工开采的形式排泄,水循环交替缓慢。冲积、冲洪积浅部地下水流主要接受引黄灌溉系及田间渗漏补给,地下水以垂直运动为主,循环深度小于60 m;地下水通过排水沟、湖泊及地表蒸发蒸腾等形式排泄。自南部冲积扇至北部扇前洼地及湖积洼地,地下水更新能力锐减,地下水交替能力由强变弱。

2. 揭示了银川平原地下水形成模式与补给机制

平原内地下水存在两种径流途径。①区域地下水径流系统,埋深于地表60 m以下;水化学特征水平分带明显,地下水以低 δD 、 $\delta^{18}O$ 、低T、 ^{14}C 、低TDS为主要特征;地下水 ^{14}C 年龄大于5000 a,水循环交替缓慢,地下水以水平运动为主,为一封闭的水流系统。②局部地下水径流系统,在山前循环深度大于100 m,至冲积、冲洪积平原循环深度小于60 m;在洪积扇及平原北部地下水 δD 、 $\delta^{18}O$ 较低,氦和 ^{14}C 含量低,地下水氦年龄大于45 a,地下水更新速率 $0.1\% \cdot a^{-1} \sim 1\% \cdot a^{-1}$ 。形成相对封闭的水流系统。平原南部地下水 δD 、 $\delta^{18}O$ 较高,氦和 ^{14}C 含量高,地下水氦年龄2~25 a,地下水更新速率 $11\% \cdot a^{-1} \sim 50\% \cdot a^{-1}$,形成相对开放的水流系统。

3. 建立了银川平原地下水三维数值模型

在对银川平原大量地质、水文地质资料进行分析的基础上,概化了研究区的水文地质条件,确定了计算区的边界条件,建立了水文地质概念模型。使用Visual Modflow进行了研究区的地下水流数值模拟。

4. 提出了针对性的水资源开发利用的对策

针对银川平原严重的土壤盐渍化问题、引水渠道的渗漏问题、引黄水量逐步减小的情况、特枯年份引黄水量突然大量减小的情况、银川市景观水道工程等提出了具体的地下水开发利用对策。在对银川平原未来的水资源需求量进行预测的基础上,通过模型研究提出了水资源合理开发利用的综合方案,指出应正确地处理渠道防渗和井渠结合的关系。

5. 完成了银川平原地下水功能评价的评价及综合分区

结合银川平原水文地质和生态环境条件,选取了16个要素指标,建立了银川平原地下水功能评价的指标体系。绘制了地下水功能评价成果图,对各要素指标层和功能层进行了功能评价,最后进行了地下水综合功能分区。

6. 建立了银川平原水资源优化配置模型

确定了银川平原水资源优化配置的目标及原则,建立了银川平原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。

六、参加工作单位、人员及报告分工

本项目的最终成果是由宁夏地质环境监测总站和长安大学共同完成的。项目组在充分讨论了水文地质环境地质研究所提供的工作大纲的基础上,根据银川平原的特点,对成果报告的部分内容进行了充实和深化,历时 6 个月完成了项目报告讨论稿。然后,经过 1 个月时间的充分讨论、专家咨询推敲斧正和补充,完成送审稿。

宁夏地质环境监测总站张黎担任项目负责,张钦、吴学华担任项目副负责。吴学华、郁冬梅高级工程师和长安大学钱会教授承担了项目年度设计书的编制。

在本书的编写上,宁夏地质环境监测总站吴学华完成了引言、第一章、第二章、第八章、第九章及其他章节部分内容的编写工作;长安大学钱会教授、王玮副教授、姬亚东博士负责了银川平原地下水水文地质概念模型、地下水水流数值模型及管理模型的研究,并完成了第三章、第四章、第五章、第六章、第十章的主要内容;宁夏地质环境监测总站郁冬梅完成了第七章的主要内容;钱会、吴学华共同完成了第十一章的编写,并对全书进行统编、充实和深化;郁冬梅、刘惠敏、毛自力、赵青等同志完成了项目数据库的录入和建库工作;吴学华、郁冬梅、刘惠敏、毛自力、赵青等同志完成了基础性图件的编制;本书前言、一、二、七、八、九章中的插图由郁冬梅和刘惠敏完成,其他由长安大学相关人员完成;在基础资料整理过程中,长安大学孙亚乔博士、杨柄超硕士、王晓娟硕士,以及硕士生詹小敏、任晓荣、连璐、窦妍、覃兰丽等付出了辛勤的劳动;参加野外工作的有吴学华、郁冬梅、刘惠敏、毛自力、赵青、史晓杰等;郁冬梅、吴学华完成了本书第一、第二稿的校对工作。张钦最后对全书进行了审核。

在本书的编写过程中,得到了水环所项目组的指导,尤其是地下水功能评价得到张光辉教授、聂振龙博士的细心指点和修改。

在地下水同位素的取样过程中,得到了中国地质科学院水文地质环境地质研究所贾秀梅研究员的现场指导。

上述人员均为本项目的顺利完成和本书出版作出了巨大的贡献。

作 者
2008 年 1 月

Investigation and Assessment of Rational Allocation of Groundwater Resources in the Yinchuan Plain

Summary

The Yinchuan Plain, in the upper reaches of the Yellow River, is located in the northern part of Ningxia Hui Autonomous Region. It is bounded by Qingtongxia in the south, Shizuishan in the north, Helan Mountain in the west and Ordos Plain in the east. It is 165 km long from south to north and 42—60 km wide from east to west. The total area of the Yinchuan Plain is 7790 km² and ranges in elevation from approximately 1100 m to 1200 m above mean sea level, being the lowest in Ningxia. It is situated between east longitude 105°45'—106°56', north latitude 37°46'—39°23'. The plain covers Yinchuan City, Wuzhong City and Shizuishan City. The population in 2003 was 2.6633 million and the national economic output value was 29.06587 billion yuan.

The Yinchuan Plain is situated in the continental arid to semi-arid climate region of northern temperate zone, with a long winter and short summer, more drought and less rain, ample sunshine, dramatic temperature difference and much wind and sand. The annual average rainfall is 185 mm and mainly concentrates from June to September, which accounts for 68.1% of the annual rainfall. The annual evaporation is 1825 mm, ten times of the rainfall.

1 Outline of the project

Investigation and Assessment of Rational Allocation of Groundwater Resources in the Yinchuan Plain, the subproject of "Investigation and Assessment of Groundwater Resources and Its Environmental Issues", is sponsored by China Geological Survey. The duration of the project was from 2003 to 2005.

The overall objective of the project is to identify change features of recharge, runoff and discharge and related environmental issues and causes; to establish the simulation model for allocation of surface water and groundwater in the Yinchuan Plain and optimize the allocation and exploitation and utilization scheme of water resources, in combination with socio-economic development planning and industrial and agricultural production; to provide the geological basis for the rational allocation of water resources, the promotion of harmony between eco-geological environment and water resource as well as land resources integrated planning and provide basic data for the comprehensive assessment of groundwater resources and its environmental issues.

The extent of the study on geology and hydrogeology in this area was relatively high in the past. On the basis of past work, full information and data collected, the appropriate kind of field work was added to strengthen the comprehensive analysis. The main work on real objects was ground survey. On the principle of filling in what we lack, simultaneous observation of groundwater level, water quantity investigation, soil and water samples tests and special tests were taken with definite aims. In accordance