

宁夏水文地质环境地质勘察创新团队
宁夏地下水资源环境信息系统建设(宁水环[2019]06)
宁夏自然科学基金: 2020AAC03460

JYU GIS DE NINGXIA DIXIASHUI ZIYUAN
HUANJING XINXI XITONG JIANSHE

基于GIS的宁夏地下水资源 环境信息系统建设

孟旭晨 孙玉芳 / 主编



黄河出版传媒集团
阳光出版社

中国地质大学（北京）
地质研究所
地质研究所

中国地质大学（北京）
地质研究所

基于GIS的宁夏地下水资源 环境信息系统建设

高翔 张晓明 丁立军

中国地质大学（北京）
地质研究所

图书在版编目 (CIP) 数据

基于GIS的宁夏地下水资源环境信息系统建设 / 孟旭晨, 孙玉芳主编. -- 银川: 阳光出版社, 2022.12
ISBN 978-7-5525-6656-7

I. ①基… II. ①孟… ②孙… III. ①地下水资源-水资源管理-管理信息系统-研究-宁夏 IV. ①P641.8-39

中国国家版本馆CIP数据核字(2023)第000266号

基于GIS的宁夏地下水资源环境信息系统建设

孟旭晨 孙玉芳 主编

责任编辑 胡 鹏

封面设计 晨 皓

责任印制 岳建宁



黄河出版传媒集团 出版发行
阳 光 出 版 社

出 版 人 薛文斌

地 址 宁夏银川市北京东路139号出版大厦 (750001)

网 址 <http://www.ygchbs.com>

网上书店 <http://shop129132959.taobao.com>

电子信箱 yangguangchubanshe@163.com

邮购电话 0951-5047283

经 销 全国新华书店

印刷装订 宁夏凤鸣彩印广告有限公司

印刷委托书号 (宁) 0025785

开 本 880 mm × 1230 mm 1/32

印 张 3

字 数 90千字

版 次 2023年6月第1版

印 次 2023年6月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5525-6656-7

定 价 98.00元

版权所有 翻印必究

《基于GIS的宁夏地下水资源环境 信息系统建设》编委会

主 编

孟旭晨 孙玉芳

编 委

贾 丹 李洪波 柳 青 唐 菲 杨占利 朱 薇
陈 青 徐映雪 翟彩霞 杨乐沛 刘 宇 时艳茹

宁夏水文地质环境地质勘察创新团队简介

“宁夏水文地质环境地质勘察创新团队”（以下简称“团队”），是由宁夏回族自治区人民政府于2014年8月2日批准成立。专业从事水文地质调查、供水勘察示范、环境地质调查、地质灾害调查、地热资源勘察、矿山环境治理等领域研究，通过不断加强科技创新能力建设，广泛开展政产学研用结合，攻坚克难，在勘察找水、水资源评价、生态环境调查评价与环境评估治理等方面取得了一系列重大成果。团队集中了宁夏地质局系统60余位水工环地质领域科技骨干，依托地质局院士工作站、博士后科研工作站、中国地质大学（北京、武汉）产学研基地以及“五大业务中心”等科研平台，结合物化探、实验检测、高分遥感测绘等新技术新方法，较系统地开展了区内外水文地质环境地质勘察领域科技攻关，累计承担国家和宁夏回族自治区各类科技攻关项目30项，获得国家和宁夏回族自治区各类奖励8项，发表科技论文126篇，出版专著8部。经过几年来的努力发展，团队建设日益完善，已形成以团队带头人为核心，以专家为指导，以水工环地质领军人才为主体的综合优秀团队，引领宁夏回族自治区水文地质环境地质工作健康蓬勃发展，持续为宁夏回族自治区民生建设、生态环境建设、城市及重大工程建设、防灾减灾，环境治理与保护提供着有力的科技支撑与资源保障。

前 言

银川平原地处宁夏北部沿黄生态经济带，西北内陆黄河中上游地区，属于干旱半干旱地带，是宁夏经济社会发展的核心区域，也是我国生态安全战略屏障重要组成部分。地下水作为重要的供水水源、生态因子和环境因子，建立地下水资源环境信息系统，为水资源的合理配置、优化调度与实时监控奠定了基础，为利用信息手段实现水资源的科学管理和合理配置搭建了平台，为实现数据共享、服务政府决策和满足社会公众对地下水资源日益提高的关注提供了渠道，是宁夏地下水资源环境信息化建设道路上的一个重大突破。

本书是研究基于 GIS 的银川平原地下水资源环境信息系统建设的一部专著，是编者对所承担的宁夏水文环境地质调查院自筹项目“宁夏地下水资源环境信息系统建设”、宁夏自然科学基金项目(2020AAC03460)在这一领域的研发成果的总结。主要包括区域背景概述，系统环境介绍、系统功能应用等，对实现宁夏地下水的科学管理，确保水资源合理优化配置，保障生态环境健康发展具有一定意义。

全书共六个章节，第 1 章绪论由孟旭晨和孙玉芳编写；第 2 章研究概况由柳青和徐映雪编写；第 3 章数据库建设由贾丹、李洪波和孟旭晨编写；第 4 章系统环境由杨占利和陈青编写；第 5 章系统功能应用由孟旭晨、孙玉芳和杨乐沛编写；第 6 章结论由孟旭晨和孙玉芳编写。系统建设所需水文地质资料由贾丹、李洪波、柳青、唐菲及朱薇负责录入，地下水资源信息系统建设整体开发由徐映雪统筹，翟彩霞、

刘宇和时艳茹负责具体功能开发。本书统稿工作由孟旭晨和柳青负责。

本书在撰写过程中受到来自“宁夏水文地质环境地质勘查创新团队”的指导，依托宁夏地下水资源环境信息系统建设（宁水环〔2019〕06）成果，由宁夏自然科学基金项目（2020AAC03460）资助完成。

编者

2022 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	001
第 2 章 研究概况	004
2.1 研究区概况	004
2.2 系统建设概况	010
第 3 章 数据库建设	017
3.1 资料数据库	017
3.2 空间数据库	020
第 4 章 系统环境	034
4.1 系统硬件设施	034
4.2 系统安全等级	037
第 5 章 系统功能应用	039
5.1 GIS 查询统计	039
5.2 数据动态分析	050
5.3 地下水资源评价	056
5.4 地下水防污性能评价	067
5.5 共享与服务平台	071
第 6 章 结论	081
参考文献	085

第 1 章 绪 论

2016 年 7 月，习近平总书记来宁夏视察时指出，宁夏作为西北地区重要的生态安全屏障，承担着维护西北乃至全国生态安全的重要使命，并明确提出要建设天蓝、地绿、水美的美丽宁夏。

地下水作为重要的生态环境因子，是植被生长、湿地保存、人民生活的重要支撑要素，做好水的管理工作对于支撑生态文明建设具有重要作用，建立地下水资源环境信息系统，实现地下水的科学管理才能确保水资源合理优化配置，保障生态环境健康发展。

GIS 最早应用可追溯至二十世纪六十年代的加拿大，当时主要应用在城市和土地方面，之后才慢慢向其他领域延伸。发达国家对水资源的管理非常重视，他们大部分都建立了适合本国水资源现状的信息管理系统，这些系统运用大型地理信息系统软件把空间和属性数据存储到空间数据库，依靠 GIS 强大的空间分析功能对水资源进行管理，通过 GIS 技术管理已经在水资源领域开发了一些成熟的软件系统，比如英国的 WaterVare 系统、加拿大的 RAISON 系统、荷兰的 Delft 水利研究所开发的 SOBEK 和 HYMOS 软件等，以上这些软件已集成不少资源方面的数学模型。另外还有一些地下水模拟或水环境模拟的专业软



件工具,如美国地质调查局开发的 MODFLOW、加拿大 Waterloo 水文地质公司的 FEFLOW、美国环境模型研究实验室的地下水模拟系统 GMS (groundwater modeling system)、澳大利亚 Watermark Computing 公司的 PEST 等,其中 MODFLOW 是地下水数值模拟中使用率最高的软件。

目前,我国正在大力推进大数据发展应用,如中国农业大学中国农业水问题研究中心的刘杰用可视化编程语言 Visual Basic 研发了石羊河流域水资源管理信息系统,该系统对研究区流域的相关信息和实验数据进行了收集、存储和管理,使该水资源管理工作进一步规范,有效地提高了流域水资源管理效率;武强等人研究开发了以 Mapinfo 为平台的塔里木盆地地下水资源管理系统;张伟红,赵勇胜等开发了基于 ArcGIS Engine 和 VB.NET 的地下水资源及其地质环境信息系统,实现了空间数据分析、图文双向查询、图表自动生成、多媒体链接及数据库管理等多种功能;首都师范大学喻孟良使用 MapObjects+ADO+VB 研制的地下水信息管理与分析系统,可对地下水资源信息进行存储、管理、检索、更新、分析与评价;刘明柱等建立的哈尔滨市水资源管理系统实现了地下水变化特征和可视化展示;丛方杰、王国利等研制了基于 GIS 组件技术的地下水资源管理系统等。为促进中国数字经济加快发展,中国地调局已经将信息化工作作为重点工作之一,明确提出信息化工作将重点加强其应用效果与服务能力,建实地质大数据管理与服务体系,推进地质调查在线化与智能化工作模式。同时宁夏也在努力推进智慧城市,信息化建设必不可少。

宁夏回族自治区水文环境地质调查院(以下简称“宁夏水环院”)自 2019 年启动了“宁夏地下水资源环境信息系统建设”项目,项目以地下水资源环境调查和评价业务为出发点,积极响应“局级平台院

级库”的规划要求，整合宁夏回族自治区全区的地下水资源环境信息，建设地下水资源环境信息系统，并进行配套的机房和展示环境建设。在此项目基础上，宁夏水环院又于2020年申请了宁夏自然科学基金项目进行“银川都市圈地下水资源环境共享平台”的研究，完成宁夏地下水资源信息的共享，完成基于GIS的地下水资源整合、分析、评价等功能的研究。为水资源的合理配置、优化调度与实时监控奠定了基础，为利用信息手段实现水资源的科学管理和合理配置搭建了平台，为实现数据共享、助力政府决策和满足社会公众对地下水资源日益提高的关注提供了渠道，是宁夏地下水资源环境信息化建设道路上的一个重大突破。

第 2 章 研究概况

2.1 研究区概况

2.1.1 人文地理

宁夏回族自治区位于我国西北地区东部，黄河中上游，与内蒙古自治区、甘肃省、陕西省毗邻，地理坐标为东经 $104^{\circ}17' \sim 107^{\circ}39'$ ，北纬 $35^{\circ}14' \sim 39^{\circ}23'$ ，面积为 6.64 万 km^2 ，包括银川市、石嘴山市、吴忠市、中卫市和固原市五个地级市。

气候条件方面，宁夏属于较典型的大陆性气候。冬寒漫长，夏日短，少酷暑，日照充足，干旱少雨，风大沙多。据宁夏各气象站多年气象资料统计及宁夏气象公报数据显示（图 2-1），全区年平均气温 $5.3 \sim 9.9^{\circ}\text{C}$ ，呈北高南低分布，极端高温 39.3°C ，极端低温 -30.6°C 。宁夏年平均降水量 $166.9 \sim 647.3 \text{ mm}$ ，南多北少，差异明显，且大都集中在夏季。北部银川平原 200 mm 左右，中部盐池同心一带 300 mm 左右，南部固原市大部分地区 400 mm 左右，六盘山区可达 647.3 mm。宁夏春冬季多风，主要风向为西北风和北风，年平均风速 $1.74 \sim 4.3 \text{ m/s}$ ，定时最大风速 34 m/s，大风之日多伴沙暴。

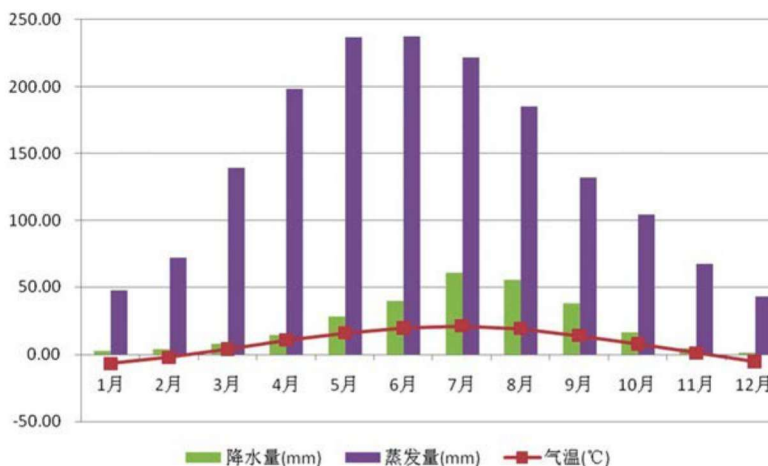


图 2-1 宁夏回族自治区气象要素图

2.1.2 地势地貌

宁夏地处中国地形第二阶梯上，受地质构造和区域应力场的控制，地貌格局以北西走向的牛首山—青龙山断裂为界，呈现明显的南北差异。

断裂以北，贺兰山山地、银川平原、陶灵盐台地自西而东依次排列，平行展布，组成带状地貌格局，山地、平原、台地之间以拉张型或张扭型断裂为界。断裂以南，北面是东西走向的卫宁北山，东面是由罗山、青龙山、窑山、云雾山组成的南北向山地，在它们所围限的宁夏南部广大地区，展布着三列弧形断块山地和两列断陷平原（盆地）：由北东向南西，第一列弧形山地包括烟筒山、窑山、泉眼山和卫宁北山南缘山地，第二列弧形山地包括清水河西侧山地和香山山地，第三列弧形山地包括月亮山、南华山、西华山；一、二列弧形山地之间为中卫冲积平原（卫宁冲积平原西部）和清水河冲积平原，二、三列弧形山地之间镶嵌兴仁洪积平原和西安州洪积平原。弧形山



地两麓边界为挤压型或张扭型断裂。

三列弧形山地在东南汇聚于六盘山，向北西散开。弧形山地与其间的平原组成弧形地貌格局。弧形山地与外围界山（卫宁北山、牛首山、罗山、青龙山、云雾山）之间分布着中宁冲积平原（卫宁冲积平原东部）、红寺堡洪积平原、韦州冲洪积平原。因而，在宁夏中部呈现出山地与平原相间分布的地貌格局。

在《中国地貌区划略图》上，宁夏一级地貌单元位于西北山地、盆地和中部高原区，二级地貌单元位于黄土高原及华北中、低山区西部，宁夏基本地貌形态类型包括山地、丘陵、台地、平原（盆地）和沙漠。

2.1.3 水文地质条件

宁夏处于多构造体系的复合交织部位，在漫长的地质历史时期，历经多次构造运动，特别是晚近期的构造运动，控制了宁夏现今的地貌格局，这种格局在某种程度上控制着储水构造，由构造和地貌制约着区域储水体的构成和展布，但是，影响地下水储存条件的主要因素是新生代地质。这些构造体系所控制的中新生代断陷盆地，是宁夏地下水富集带，具有重要的水文地质意义。其中，基岩山地储水带主要包括基岩山地风化裂隙储水带、块状岩系裂隙储水带、层状岩系层间裂隙储水带和碳酸盐岩类裂隙岩溶储水带；中、新生代储水盆地则主要包括白垩系储水盆地、古近系、新近系储水盆地以及第四系储水盆地。

全区分布较广的含水岩组有四种基本类型，即松散岩类孔隙含水岩组、碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组、基岩裂隙含水岩组、碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩组。

松散岩类孔隙含水岩组主要是指埋藏于第四系松散覆盖层中的

水,其特点是分布广、埋藏浅、开采方便,是最具供水意义的地下水。主要分布于银川平原、卫宁平原、清水河河谷平原、葫芦河河谷平原,其次在山麓地带和宁南黄土丘陵中的盆洼地中也有广泛分布。银川平原、卫宁平原含水层厚度巨大,又有灌溉水源的补给,水量丰富,水质好,是宁夏工业的主要供水水源。清水河河谷平原及其宁南黄土丘陵中的盆洼地地下水是农林牧业主要的供水水源。

碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组主要包括第三系、白垩系、前白垩系裂隙孔隙层间水。第三系裂隙孔隙层间水的主要特点是含水岩组厚度大、分布广、水质差、水量小。在宁夏南部常构成大型的储水盆地,在宁夏北部主要分布在第四系储水盆地周边,在地貌上常表现为山前台地。含水岩组主要由泥质岩类组成,富含膏盐,一般富水性弱,水质差。全区苦咸水的形成与分布一般多与该地层含盐有关,所以第三系含水岩组基本没有供水意义,仅在与分布淡水山区邻近的盆缘才蕴有供水意义的淡水或微咸水。白垩系含水岩组主要分布于盐池县、彭阳县。为陕甘宁内蒙古白垩系自流水盆地的西缘部分,区内表现为一大型向斜构造盆地,含水岩组岩性为砂岩、泥质砂岩和砾岩,以微咸水为主。

碳酸盐岩类裂隙岩溶水主要由下古生界寒武系、奥陶系与震旦亚界的碳酸盐岩夹碎屑岩组成。分布范围不大,具有水量大、水质好、埋藏深、露头少的特点。含水岩组富水性极不均一,主要受岩性与构造的控制,一般断裂破碎带、岩溶发育的地段富水性较好。主要分布在贺兰山中段,牛首山卡子庙—庙山湖、青龙山和南北古脊梁一带,该含水岩组主要岩性为元古界、古生界灰岩、白云质灰岩、硅质灰岩、白云岩,岩溶现象比较普遍,溶蚀裂隙比较发育,有些地段见有溶洞。这些地区地表水体缺乏、地下水露头极少,属严重的缺水地



区。但经近年的探索研究发现,全区有太阳泉泉域、郑家泉泉域、六盘山东麓泉域、庙山湖泉域等岩溶泉域的存在,为在这些缺水山区找水提供了重要的水文地质依据。

基岩裂隙含水岩组是指赋存于山区基岩裂隙中的地下水。其基本特点是接受大气降水的直接渗入补给,分布极不均匀,径流途径短,常于沟谷转化为第四系潜水或地表径流,水质好。含水岩组主要由古生界碎屑岩、浅变质岩与震旦亚界碎屑岩及前震旦亚界变质岩组成。该含水岩组主要分布于贺兰山、香山、卫宁北山、牛首山、烟筒山、罗山、六盘山、月亮山、南西华山等基岩山地,主要为强风化带裂隙水,局部为断裂裂隙脉状水,富水性较弱。

区内地下水的补径排条件受地质、构造、地貌条件的控制,从区域上看,山区属地下水的补给区,山前地带属地下水径流区,平原、坳谷、洼地为地下水的排泄区。大气降水是基岩山区地下水唯一的补给来源,大气降水经短距离径流,常汇集于沟谷中流出。银川平原、卫宁平原地下水除了大气降水补给外,还有山前洪水散失渗入补给,侧向径流补给,渠系田间灌溉入渗补给。银川平原、卫宁平原渠系、田间灌溉入渗补给使地下水具有丰富的补给来源,地下水资源一部分经过短距离径流后,排泄于排水沟中,部分靠蒸发和人工开采排泄。广大丘陵山区大气降水入渗补给是地下水唯一的补给来源,因而天然资源受降水量影响,呈现由南而北递减的规律。在宁夏南部黄土丘陵区,切割强烈,地形破碎,集中于7、8、9月雨季的降水量以山洪的形式,沿洪水沟道排泄,水土流失严重,使其补给量微弱,这些地区地下水位埋深一般在十几米以上,有的达数十米,因而地下水仅靠切穿含水层的沟谷来排泄。黄土丘陵中的坳谷洼地,除了接受大气降水的补给外,还接受周边山区的侧向补给,因而部分地区

补给源比较充沛,水量丰富。这些地段地下水埋藏较浅,受蒸发影响明显,因而在洼地中地下水化学成分具明显的分带性,在洼地中央最低处往往有盐水湖或咸滩分布。灵盐台地区,虽降水少,但其地表形态波状起伏,一般降水不形成远距离山洪径流而汇集于小规模潜水洼地中,并使地下水具有较丰富的补给,这些地段往往成为小型供水水源。中卫西北沙漠区和盐池哈巴湖一带等地段,上部有活动沙丘覆盖,由于受温差影响,形成一定数量的凝结水补给而形成局部地段的沙漠潜水。

地下水水化学特征方面,从区域上看,潜水水化学成分在水平方向上有明显的分带性,在基岩山区与山麓洪积扇地带水交替积极,潜水水化学作用以溶滤作用占优势,水化学类型以溶解性总固体小于 1 g/L 的重碳酸或重碳酸—硫酸盐型水为主。平原区水交替缓慢,潜水排泄以蒸发为主,潜水水化学作用以浓缩占优势,水化学类型较为复杂。在平原边缘水化学类型为溶解性总固体 $1\sim 2\text{ g/L}$ 的硫酸—氯化物水,在平原中部水化学类型以溶解性总固体 $2\sim 5\text{ g/L}$ 的硫酸—氯化物和氯化物—硫酸盐水为主。山间洼地或盆地处于汇水中心,潜水径流滞缓或基本处于停滞状态,蒸发是潜水主要的排泄方式,从而使潜水高矿化以至浓缩,溶解性总固体高达几十克/升。水化学成分除受地貌影响外,还与气候因素有关,大致以南西华山、炭山一线为界,此线以南地区年降水量大于 400 mm ,潜水水化学类型多以溶解性总固体小于 1 g/L 或 $1\sim 2\text{ g/L}$ 的重碳酸—硫酸盐型水或硫酸—重碳酸盐型水为主。此线以北降水量向北减少,潜水水化学类型多为溶解性总固体 $2\sim 5\text{ g/L}$ 或 $5\sim 10\text{ g/L}$ 的硫酸—氯化物或氯化物—硫酸盐型水。在盐池地区的坳谷潜水和中卫西部腾格里沙漠边缘的沙漠凝结水,多为溶解性总固体小于 1 g/L 的重碳酸—硫酸盐型水。宁夏的第三系由于富含石膏,