

·科学研究·

河西走廊(疏勒河)项目灌区地下水动态预测研究

张 玉

(甘肃省水利水电勘测设计研究院,甘肃 兰州 730000)

摘要 在充分收集以往研究成果资料基础上,利用现代综合勘察手段,查清了流域水资源形成条件以及盐碱土分布和演化规律,运用先进的数值模拟技术,开发了流域三维地下水水流、溶质运移模型和灌区土壤水-地下水联合模拟预测模型。利用数量化理论估计方法确定区域水文地质参数,建立了基于遗传人工神经网络的二元土壤盐渍化敏感性分析,开展现状条件和规划条件下流域三个灌区的地下水水位和水质预测以及地下水可开采量的评价。研究项目为流域农业和社会经济的可持续发展及水资源的合理开发、调配和利用、灌区输、排水工程设计、土壤盐渍化改良及环境影响评价等提供科学依据。

关键词 疏勒河 地下水动态 数值模拟 预测

中图分类号 P641.2 文献标识码 B

1 概述

疏勒河流域位于甘肃省河西走廊西端,地处干旱荒漠地带。受南部祁连山脉及北部荒漠的共同影响,其特定的自然地理环境和地质构造环境造就了该区相对丰富的水土资源,有利于土地开发和农业的发展。随着人类生产活动的不断扩大,在发展与改善农业生产条件的同时,区域的生态环境也发生了变化,部分地区出现恶化的趋势。

甘肃省河西走廊(疏勒河)农业灌溉暨移民安置综合开发项目是以水利灌排、垦荒造田、农林牧开发、移民安置、环境保护、水土保持、工业供水为主,兼顾小水电开发并利用世界银行贷款建设的扶贫和环境治理与保护的大型农业综合开发项目,实现该地区资源开发、环境保护与社会经济协调发展。

由于疏勒河项目的全面实施,灌区输、排水工程的布置以及水资源的合理调配、生态保护、土地开发、盐碱地改良等,不可避免地改变着流域的水循环特别是地下水运动状态,进而可能影响到区域的生态环境问题。因此,对项目实施后地下水动态的预测,是科学指导疏勒河项目有序、和谐推进的重要基础工作,是保障疏勒河项目整体成功、推进疏勒河流域经济社会可持续发展的重要保证。因此,地下水动态预测研究工作十分必要。

1.1 研究目标

对灌区涉及的和可能影响的疏勒河昌马大坝以下至安西西湖流域进行水文地质勘察工作,重点开展三大灌区野外水文地质补充勘察工作,勘察深度满足项目区水利工程初设阶段的要求,通过灌区地下水的动态预测研究及水资源的综合评价,为流域水资源的合理开发、调配和利用及灌区输、排水工程设计,土壤盐渍化改良及环境影响评价等提供科学依据。

1.2 研究任务

对工作区内已有成果进行充分收集、分析、整理,对三大灌区进行补充勘探和测绘,查明和阐述各灌区水文地质条件,在此基础上研究各灌区地下水水、盐动态及变化规律,综合考虑各种水文地质因素和边界条件,建立地下水数值模型,用数值分析、解析的方法,对流域各灌区现状及远景条件下的地下水资源进行评价,同时对各灌区因环境因素的改变而引起的地下水动态变化进行研究并定量分析和预测。

1.3 总体技术工作线路

根据上述工作目的、任务及已有成果资料,编制了研究项目总体工作大纲并提出如下具体的总体技术工作路线(图1)。

1.4 主要研究成果

(1) 首次集成建立了内陆盆地地表水-地下水、水质水量联合调度的理论和方法,在疏勒河灌区得到实际应用,实现了资源开发、环境保护与社会经济协调发展的新理念。

(2) 建立的基于GIS的灌区土壤水-地下水水流、溶质垂向运移与二维扩散耦合模型体系,能够分析预测干旱区大气降水、土壤水、地表水和地下水复杂的相互作用关系,从而对规划条件下灌区开发可能引起的土壤水、地下水水质水量变化,作出正确地分析判断。

(3) 运用数量化理论进行区域水文地质参数评估,解决了区域水文地质参数不确定性和空间变异问题,提高了灌区地下水数值模拟精度。提出的理论方法对缺乏基础观测资料的地区,有很高的实用价值。

(4) 建立了遗传人工神经网络的二元土壤盐渍化敏感性分析模型,并应用于疏勒河灌区,取得了良好的效果。

我院于2004年12月完成了项目的研究工作,并于2006年12月通过了省科技厅组织的省内外专家的成果鉴定,鉴

收稿日期 2008-10-28

作者简介 张 玉(1957-)男,四川资阳人,高级工程师,学士,主要从事水利水电工程地质及水文地质勘察。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

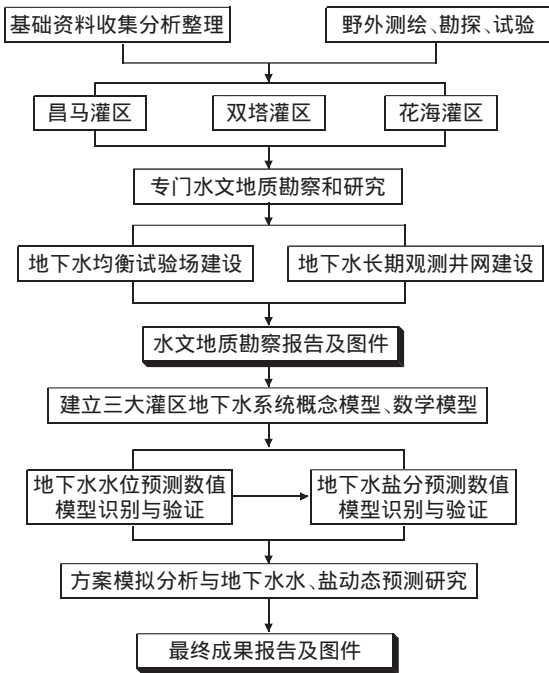


图 1 总体技术工作路线图

定结论为研究项目总体达到国际先进水平。

2 研究的主要结论及建议

2.1 主要结论

(1) 研究区独特的地质构造和基岩分割,形成了相对独立的地下水系统,即昌马盆地、安西盆地和花海盆地地下水系统。相应的地形和地质条件,有利于地下水的形成和富集,在山前平原盆地松散沉积地层中赋存了丰富的地下水资源。在现状条件下,不重复的地下水资源总量为 $0.62 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,昌马、双塔和花海 3 个灌区分别为 $0.22 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 、 $0.30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $0.10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

(2) 在现状条件下,三大灌区山前戈壁平原地区的地下水水位动态都呈年际间持续小幅下降的趋势。其中,昌马灌区地下水位下降在山前洪积扇处较大,预测期末(30 a)下降最大达到 2.5 m;双塔灌区的地下水位在双塔水库到安西县城附近变化较大,最大下降达到了 6.0 m;花海灌区地下水系统相对来说处于动态平衡。三大灌区细土平原区的地下水水位基本处于稳定状态,只是年内受灌溉、蒸发和开采等因素影响,有季节性变化。

(3) 在规划方案下,昌马灌区地下水呈南降北升态势。山前洪积扇水位下降幅度较大,到预测期末出山口处降幅超过 60 m,扇前缘下降 5 m 左右,但细土平原区(灌区)地下水位则有小幅度的上升,上升幅度在 0.35~0.65 m;双塔灌区,以小宛乡至安西县城为中点为界,以东到双塔水库的狭长地带,地下水位继续持续下降,最大降深会达到 7.0 m。以西受上游向双塔水库调水,整个灌区地下水补给量增加的影响,区域地下水位特别在安西环城乡至四工分场一带水位到 2030 年最大会上升 2.0 m,将引起土壤次生盐碱化,需要加强排水措施,或调整生态用水方案;花海灌区在新的补给条

件下,表现为区内地下水位的普遍抬升,在花海乡水位上升最大达 4.0 m。

(4) 规划方案实施后,盆地地下水的补给和排泄条件将发生较显著变化。预测期末,昌马盆地地下水补给量比现状减少 $2.500 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,泉水排泄量减少 $0.460 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,蒸发量减少 $0.198 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,总水均衡处于负均衡状态,均衡差 $-1.943 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$;双塔灌区补给量比现状增加了 $0.60 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,蒸发量较现状增加了 $0.509 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,均衡结果为 $+0.067 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,水量处于基本均衡状态;花海灌区补给量较现状年增加 $0.311 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,蒸发量较现状增加了 $0.172 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,总均衡差为 $+0.020 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,处于基本均衡状态。

(5) 在现状和规划方案下,综合考虑地下水水位埋深、生态和水质情况,在对三大灌区的水文地质特征充分分析的基础上,评价了三灌区的适宜开采量。昌马灌区现状条件下和规划方案下地下水适宜开采量分别为 $0.5800 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $0.5200 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,双塔灌区分别为 $0.2200 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $0.3430 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,花海灌区分别为 $0.1095 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $0.1696 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。根据现状开采水平,3 个灌区地下水资源都尚有一定的开采潜力。

(6) 受新开垦荒地洗盐的影响,昌马灌区在预测期开始的 10 a 内,地下水矿化度呈上升趋势,之后又处于下降状态;双塔灌区地下水矿化度变化不大,但在局部特别是灌区下游地下水矿化度处于上升趋势;花海灌区受灌溉影响,一直处于上游脱盐、下游积盐状态;昌马灌区新垦荒地洗盐会引起溢出泉水水质的变差,泉水矿化度将上升至 2.0~2.7 g/L,对双塔水库水质产生一定影响。因此,必须保证从昌马总干渠直接调入规划的水量到双塔水库稀释洗盐回归水,才能使双塔水库水质符合灌溉标准。

(7) 分别建立了基于 GIS 和面向权重的遗传神经网络模型,描述和评价土壤一元和二元盐渍化敏感性。研究结果表明在众多影响因子中,地下水矿化度是最灵敏的因子,其次分别是地下水水位、蒸发量和黏土顶板埋深,降水量和地形坡度的灵敏程度基本相当,灵敏度相对低些。分析成果对区域水土资源的开发利用和土壤改良具有参考价值。

(8) 疏勒河项目的实施,昌马洪积扇内储存的地下水将因重力作用逐步释放出来,补充灌区地下水,在一定时间内缓解水资源开发带来的生态环境压力,计算结果表明,按照中期调整规划,在预测期内,三大灌区的水资源系统处于一种新的平衡状态。方案能够满足规划后的区域间水量调配、新增灌溉面积的灌溉用水量,地下水水位和水质动态均处在一个合理的变化范围内,调整后的规划方案总体可行,不会对生态环境产生大的不利影响。

2.2 建议

开发研制的地下水模型为本地区水资源调和和生态环境保护提供了手段,得到的分析成果对灌区开发规划和管理有指导意义。针对本地区存在的有待解决的问题,提出以下建议。

(1) 本地区的土地开发必须和水资源承载力相适应,地表水资源和地下水资源统一规划和管理,尤其应控制地下水的开采。

(下转第 452 页)

细介绍。

(3) 以多目标、群决策功能和先进模型所构成的决策支持系统(DSS)框架为分析平台,应用多目标情景分析法和动态模拟模型分析技术对石羊河流域可持续发展模式、水资源承载能力及生态环境保护进行了计算分析研究,提出了最接近决策者意愿和偏好的流域水资源合理配置方案及生态环境保护的对策和建议。

(4) 以地理信息技术(GIS)为开发平台,结合地面地下水联合调度模型及地下水动态模拟技术,提出了以地下水埋

深为主要因子的天然植被盖度评价方法。

(5) 建立了民勤盆地地下水资源模拟模型、地下水有限元预测模型、生态环境评价模型,深入研究了干旱地区水与绿洲生态关系这一世界性关注的焦点问题,并通过水与灌溉面积、绿洲面积,进而灌溉与粮食、区域经济等相互关系的研究,提出了可供干旱地区参考的生态环境保护方案和治理对策。

5 获奖情况

该研究成果获 2000 年甘肃省科技进步二等奖。

(上接第 448 页)国际先进水平。

(3) 30A 和 38# 隧洞地质复杂,岩性多变,软硬变化幅度很大。采用双护盾掘进机,能适应不同岩性的刀具及不同强度的预制管片衬砌,工艺先进。为隧洞施工提供了良好的条件,创造了日、月成洞进度的最高纪录,施工技术达到了国际先进水平,施工速度达到了国际领先水平。使我国隧洞工程施工技术登上了一个新台阶。

(4) 先明峡、水磨沟钢制桥式倒虹吸水头分别高达 107.0 m 和 67.5 m,长度分别为 523.8 m 和 568.2 m,在国内目前为较高水平。设计采用聚四氟乙烯弹性滑块减少温度应力,简化施工。采用环氧沥青高压无气喷涂技术防锈。设计施工达到国内领先水平。

(上接第 450 页)

(2) 疏勒河项目完成后,昌马盆地地下水因上游补给区补给量大幅度减少,昌马洪积扇和洪积扇前缘与细土平原交接带地下水位普遍下降,地下水侧向径流量和泉水溢出量都将减少,特别是流向踏实盆地即桥子一带的生态保护区和引泉灌区的地下径流和泉水量将减少 $0.08 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,减少幅度为 28%,应通过地表水分配规划进行补偿。

(3) 应持续加强地下水动态监测工作,包括地下水位和水质动态、泉水流量和水质动态,尤其是新开垦灌区的地下水动态和入疏勒河泉水的水量和水质,以及昌马灌区进入踏实盆地的泉水动态,应持续和加强均衡试验场观测试验工作,利用区域监测数据及试验观测数据,不断改进模型参数,提高模型预测精度,为灌区水资源管理和土壤改良提供基础信息。

(4) 疏勒河流域土地盐渍化问题范围广、程度深,是决定疏勒河项目成败的关键因素之一。建议在从微观方面进行研究的同时,加强宏观方面的工作,以遥感和地理信息系统技术为依托,建立以环境变量为研究对象的土地盐渍化预警系统,服务于区域水、土资源的合理配置和科学规划。

(5) 建议开发研制疏勒河流域灌区水资源水环境管理决策支持系统,提升灌区水资源管理的水平和能力,实现灌

(5) 庄浪河渡槽在总长度、过流量、单跨长、墩高等综合指标上在国内属少有。设计采用预应力预制空腹拱形桁架,承重结构先进,用材节约,外观优美。施工中自行设计制作 200 t 龙门吊机整跨吊装,保证了施工质量及进度,节约了工程投资。达到国内领先水平。

引入秦跨流域引水工程建成后已安全运行 4 a,发挥了很好的经济效益、社会效益、环境效益。该工程的规划设计、新技术、新工艺总体上讲属国际先进水平,可在同类工程中推广应用。

建议今后进一步深入研究扩大灌溉面积,及早实施引水道上电站建设,充分利用水能,加强湿陷性黄土隧洞及软岩隧洞段的长期原型观测。

区管理的现代化。

研究项目采取的基于 GIS 的灌区耦合数值模型、水资源转化、地下水溶质运移、神经网络和遥感、盐碱土改良以及地下水动态预测,国内外均有文献报道。虽然与文献中的研究有一些重叠和交叉,但本课题开发的基于 GIS 的疏勒河流域大型灌区尺度的土壤水-地下水水流与溶质运移耦合模型,遗传人工神经网络的二元土壤盐渍化敏感性分析模型,结合水文地质勘察、遥感及地理信息系统技术进行各类数据的建立、储存、管理、分析,建立了集入渗补给、潜水蒸发、渠系渗漏补给、井灌回归等多参数观测的河西走廊地下水均衡试验场等技术特点,在研究期间国内外均未见相同研究报道。

本研究成果作为疏勒河流域水土资源规划的主要技术支撑,其成果已被疏勒河流域管理局采纳,被应用于《河西走廊(疏勒河)项目中期计划调整报告》中,世界银行专家在疏勒河流域生态环境影响评价中也采纳了本项目研究成果,另外本项目研究成果和内容已在疏勒河流域规划中全面采用,并在流域区内的玉门市、瓜州县等地区推广应用,取得了可观的社会、经济效益。

3 获奖情况

该项目荣获 2007 年甘肃省科技进步一等奖。