

2013年度水利部公益性项目 (201301083)

疏勒河灌区地下水 演变规律及评价方法

水利部综合事业局
甘肃省水文水资源局 著
河海大学



黄河水利出版社

2013 年度水利部公益性项目(201301083)

疏勒河灌区地下水演变 规律及评价方法

水利部综合事业局 甘肃省水文水资源局 河海大学 著



黄河水利出版社

· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

疏勒河灌区地下水演变规律及评价方法/水利部综合事业局,甘肃省水文水资源局,河海大学著. —郑州:黄河水利出版社,2016.9

ISBN 978 - 7 - 5509 - 1549 - 7

I. ①疏… II. ①水… ②甘… ③河… III. ①河西走廊 - 灌区 - 地下水资源 - 研究 IV. ①P641.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 224974 号

组稿编辑:李洪良 电话:0371 - 66026352 E-mail:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:河南承创印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:23.25

字数:535 千字

印数:1—1 000

版次:2016 年 9 月第 1 版

印次:2016 年 9 月第 1 次印刷

定价:98.00 元

前 言

随着社会经济的发展,人口的激增,水资源短缺和生态环境恶化越来越成为我国西北内陆河流域社会经济可持续发展的制约因素。疏勒河灌区位于河西走廊西端,降水稀少,生态环境脆弱,对水资源变化十分敏感。近几十年来,随着“两西建设”和疏勒河移民工程的实施,地下水资源逐渐成为区域水资源利用的主体,流域内部水循环发生了明显变化,选取该地区为研究对象,不仅有助于了解我国西北内陆河流域水文系统演变的核心问题,还能为当地制定合理的地下水开采模式,防止出现类似于石羊河、黑河流域水资源过度开采而导致严重的生态环境问题。

依托水利部公益性行业科研专项经费项目“疏勒河灌区地下水演变规律及评价方法”(201301083),本书通过对疏勒河灌区实地调查,结合对有关参数的现场测定,以基于水资源系统的地下水资源均衡模型为基础,以影响灌区诸因子历史演变规律分析为切入点,以灌区水量分析为主线,以水化学分析为辅线,系统论述了土地变化与地下水资源量的关系,分析了水化学特征,揭示了疏勒河灌区地下水循环演变规律,定量分析了疏勒河灌区水资源均衡要素间的相互制约和转化关系,建立了基于水资源系统和地下水系统双重约束的地下水资源均衡方程,评价了灌区地下水资源。

全书共分为十章,主要研究内容和取得的成果如下:

第1章绪论,论述研究的背景和意义,以及疏勒河灌区相关研究成果和进展。

第2章研究区概况,分析了灌区水资源开发利用以及种植结构、灌溉制度等情况。

第3章现场监测及数据分析,在研究区开展了净灌溉用水定额、渗透系数、水化学与同位素以及泉流量的现场监测和数据分析工作,为识别疏勒河灌区水资源均衡要素,查明地下水循环规律做好数据准备。

第4章土地利用对地下水资源影响程度,研究疏勒河灌区1987~2013年的土地/覆被利用时空变化特征,计算各时段灌区地下水资源量,分析土地利用变化对地下水补给、排泄系统的影响。

第5章地下水动态变化特征,在收集资料和实地监测疏勒河灌区地下水位动态数据的基础上,分析水位年际变化和年内变化特征以及近30年的地下水流场变化。

第6章水化学及同位素历史演变规律,结合区域自然地理、水文地质条件,运用水文地球化学研究手段及同位素分析方法研究灌区地下水与地表水水化学组成及水文地球化学特征,地下水年龄及补给来源,识别疏勒河灌区水循环规律。

第7章基于水资源系统的地下水资源均衡模型研究,在系统分析疏勒河灌区水资源、用水来源、用水特点、水资源转化规律的基础上,深入研究了水平衡要素的机制和相互关系,提出在水资源总量和地下水资源的双重约束条件下,构建基于水资源系统的地下水资源均衡模型。考虑地表水供用平衡、地下水平衡,通过入流、蒸发、入渗、消耗及单元间的水量交换将平衡系统统一联系起来,建立了一套详细计算的水均衡概念模型。

第8章疏勒河灌区地下水资源量评价,以花海灌区为典型灌区,建立基于水资源系统的地下水资源均衡模型。首先根据花海灌区水文地质条件,建立了灌区地下水数值模型,并对模型进行了识别和验证;其次叠加水资源系统,建立基于水资源系统的地下水资源均衡模型,计算地下水补给量、排泄量。

第9章疏勒河灌区水资源优化配置模型构建及求解,以花海灌区为典型灌区,采用WRMM模型构建了灌区水资源优化配置模型,并提出配置思路及措施。

第10章结论,总结并提出相关建议。

在本书编写过程中,曹淑敏、赵辉、曲炜、刘诚明负责全书提纲拟定,曲炜负责全书的统稿,牛最荣负责最后编审。具体编写人员及编写分工为:第1章由曲炜、敖菲编写,第2章由李计生编写,第3章由李计生、敖菲、周志芳、黄维东编写,第4章由周志芳、郭巧娜编写,第5章由郭巧娜、李计生编写,第6章由郭巧娜编写,第7章由曲炜、敖菲、薛洋编写,第8章由敖菲、薛洋、曲炜、郭巧娜编写,第9章由薛洋、何英编写,第10章由敖菲、薛洋、曲炜编写。张小会、刘俊伟、李亚娟、邹永超、郑洪伟、陈文、胡兴林、刘进琪、李斌、张百祖、王仙红、张文春、李亚林、王建平、窦智、孙超参与了本书的前期研究工作。

在本研究开展过程中,得到了水利部国际合作与科技司、甘肃省水利厅、甘肃省疏勒河流域水资源管理局、甘肃省酒泉水文水资源勘测局的大力支持和帮助,同时得到多位专家指导,在此,对支持和帮助本研究的专家、单位和同仁表示衷心的感谢。

由于研究仍需要深入,且限于作者的水平和其他客观原因,书中难免会存在不足和纰漏,敬请读者批评指正。

作 者

2016年7月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 目的和任务	(1)
1.2 已有研究基础	(3)
1.3 主要研究内容及技术路线	(7)
1.4 难点与创新点	(9)
第2章 研究区概况	(11)
2.1 自然地理概况	(11)
2.2 社会经济概况	(14)
2.3 水资源及其开发利用情况	(15)
2.4 灌溉方式及灌溉制度	(20)
2.5 地质及水文地质条件	(26)
第3章 现场监测及数据分析	(36)
3.1 监测目的与内容	(36)
3.2 净灌溉用水量测定及计算	(37)
3.3 渗透系数	(48)
3.4 水质与同位素	(54)
3.5 泉流量	(65)
3.6 结果分析	(71)
第4章 土地利用对地下水资源影响程度	(81)
4.1 疏勒河灌区土地利用/覆被变化研究	(81)
4.2 疏勒河灌区地下水资源量变化	(88)
4.3 土地利用变化对地下水资源量的影响	(99)
4.4 地下水补排变化的均衡分析	(103)
4.5 土地利用与地下水变化的灰色关联度分析	(106)
4.6 本章小结	(110)
第5章 地下水动态变化特征	(112)
5.1 水位变化规律	(112)
5.2 地下水流场及其变化特征	(122)
5.3 本章小结	(126)
第6章 水化学及同位素历史演变规律	(128)
6.1 水化学特征及演变规律	(128)

6.2	同位素特征及演变规律	(146)
6.3	灌区水循环规律	(155)
6.4	本章小结	(155)
第7章	基于水资源系统的地下水资源均衡模型研究	(157)
7.1	概念模型	(157)
7.2	模型构建	(163)
7.3	求解及计算步骤	(166)
7.4	本章小结	(167)
第8章	疏勒河灌区地下水资源量评价	(168)
8.1	灌区地下水均衡计算(一次平衡)	(168)
8.2	基于水资源系统的地下水均衡模型(二次平衡)	(172)
8.3	计算结果比较分析	(206)
8.4	本章小结	(210)
第9章	疏勒河灌区水资源优化配置模型建构及求解	(212)
9.1	水资源优化配置的概念与内涵	(212)
9.2	配置思路	(214)
9.3	计算方法	(217)
9.4	花海灌区优化配置模型的建立及优化配置方案	(222)
9.5	本章小结	(250)
第10章	结论和建议	(251)
10.1	结 论	(251)
10.2	建 议	(254)
附录1	灌溉定额试验	(256)
附录2	振荡试验配线图	(358)
参考文献		(362)

第1章 绪论

1.1 目的和任务

1.1.1 研究目的

疏勒河流域位于我国西北干旱区,南依祁连山系,发育有疏勒河、榆林河、党河等数条水系,山前冲洪积平原分布着玉门—踏实、瓜州、敦煌、花海、赤金等不同规模的多列式含水亚系统,在纵向上各盆地内部存在潜水及多级承压水系统,区内第四系地层齐全复杂,子盆地过渡界限较为清晰,加之地表水、地下水相互转化频繁。因此,这里是研究不同含水层间转化关系,地下水循环模式、补给机制与更新能力的天然实验室。疏勒河流域降水量稀少、沙尘暴频发、生态环境脆弱,对水资源变化响应十分敏感。近几十年来,随着“两西”建设项目和疏勒河移民工程的实施,大量人口迁入平原区,彻底改变了原来依赖地表水的水资源利用模式,地下水资源逐渐成为区域水资源利用主体。同时,随着土地资源的开发、节水灌溉技术的普及,地下水资源补给量的逐渐减少,地下水位、水量、水质、排泄量以及可开采量等因素的时空分布规律均发生了变化。由于对水资源的不合理开发利用,流域内人工绿洲与下游湖泊、湿地等生态环境之间水资源供需矛盾突出,出现了如地下水位下降、泉水资源衰减、草场退化、土地盐渍化等一系列的生态环境问题。因此,选取该流域为研究对象不仅有助于理解我国干旱内陆典型流域水文系统演变的核心问题,还能为当地制定合理的地下水开发模式,防止出现类似于石羊河、黑河流域水资源过渡开采而导致的严重生态环境问题,起到未雨绸缪的作用。

近几十年来,在国家科技部、自然科学基金委员会、国土资源部等有关部门的资助下,针对疏勒河流域水资源开展了大量的普查及科研工作,如原地矿部科技攻关项目《西北地下水资源评价合理开发利用研究》、国土资源部《河西走廊地下水勘查》等,通过实地调查,结合地质钻探、物探、遥感和同位素等技术手段,从不同角度做了大量的工作,积累了丰富的资料和成果。但这些研究主要集中在地下水资源勘查开发状况,以及水资源开发利用产生的环境效应方面,在深刻揭示流域地下水循环演化机制方面还存在很多不足,尤其是对地下水更新能力的认识十分欠缺。以中央水利工作会议精神为指导,根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2007—2020年)》及2010年中央一号文件确定的水利发展基本目标——“要以坚持民生优先为原则”,研究“甘肃河西走廊(疏勒河)农业灌溉暨移民安置综合开发项目”实施后,灌溉面积扩充、移民开荒、三库联合调度运行、下游湿地保护、洗盐排碱等对疏勒河灌区地表水与地下水资源之间的转换关系影响。进一步加强地下水资源科学管理,提出关于灌区水资源可持续利用与灌区持续发展的思路 and 对策,为实现甘肃省民生水利发展目标做好科技支撑和服务工作。

本书拟以疏勒河灌区为剖析对象,在查明地表水和地下水历史演变规律的基础上,构建一套基于水资源总量和地下水补径排双重约束的地下水资源量评价方法,并利用该方法计算灌区水资源量,同时提出不同情景下灌区用水方式优化配置方案,为灌区地下水资源可持续利用和荒漠化治理提供科学依据,为干旱区地下水资源合理开发、利用提供技术支撑,为地下水资源评价提供创新和便捷的操作方法。

1.1.2 研究任务

1.1.2.1 项目总任务及专题任务

1. 项目总任务

以基于水资源系统的地下水资源均衡模型分析为手段,以影响灌区诸因子历史演变规律分析为切入点,以灌区水量分析为主线、以水质分析为辅线,以灌区用水方式优化配置为目标,预测地下水系统未来不同情境演变趋势,为灌区地下水资源可持续利用和荒漠化治理提供科学依据,为干旱区地下水资源合理开发、利用提供技术支撑,为地下水资源评价提供创新和便捷的操作方法。具体而言,在对疏勒河灌区历史资料和现场监测资料分析的基础上,建立基于水资源系统和地下水系统双重约束的地下水评价水均衡方程,并对未来疏勒河灌区地表水、地下水合理配置和优化方案选择提供技术支撑。

2. 专题任务

(1)疏勒河灌区土地利用对地下水资源影响程度分析。在资料收集和现场监测的基础上,分别对灌区耕地面积、种植结构、灌溉制度、灌溉面积、水量、水质等影响地下水资源评价因子的历史演变规律进行分析,提出各因子自身随时间变化规律和主要因子之间的演变规律,分析土地利用变化对地下水资源影响程度。

(2)疏勒河灌区水量水质历史演变过程及趋势分析。通过灌区水量、水质历史监测资料和项目实测数据,分析地下水动态变化及地下水流场分布情况,对灌区今后地下水变化情况进行预测,同时反演灌区地下水历史变化。

利用水均衡模型计算不同历史时期地下水资源量,分析地下水资源变化规律,找出影响灌区地下水资源变化原因并预测分析不同情景灌区水量水质变化趋势。

(3)基于水资源系统的地下水资源均衡模型分析。在灌区水量水质历史演变变化规律分析的基础上,提出基于水资源系统和地下水系统双重约束下的均衡模型,计算不同阶段地下水资源量。

(4)疏勒河灌区用水方式优化配置方案。在对种植结构、用水方式、灌溉制度及水资源量分析的基础上,提出不同情景下灌区用水方式优化配置方案。

1.1.2.2 年度任务

1. 2013 年

灌区现状调查,绘制地下水监测井和生产井平面图;开展地下水位、水质,干支斗农渠关键节点流量监测,主要种植作物耗水量,土壤含盐量,泉水溢出,同位素跟踪等项目的现场取样、监测工作;收集有关灌区耕地、用水量、地下水监测等方面的历史资料,开展问卷和走访调查,分析资料,确定研究方案,提交阶段性成果。

2. 2014 年

在继续完成现场监测的基础上,重点开展如下研究:

(1)进行疏勒河灌区水量水质历史演变规律分析。通过灌区水量、水质历史监测资料,分析灌区地表水与地下水转化关系,并预测灌区水量水质变化趋势。

(2)进行疏勒河灌区地下水资源量分析。在灌区水量水质历史演变规律分析的基础上,分析不同阶段灌区地表水与地下水资源量变化情况。在地表水、地下水综合约束下进行地下水资源评价,其评价结果更加客观、可靠。

(3)建立疏勒河灌区地下水资源评价模型。在水资源系统和地下水系统双重约束下,根据水量平衡原理,建立地下水资源评价水均衡模型。

3. 2015 年

提出疏勒河灌区用水方式优化配置方案。在水均衡分析的基础上,分析土地利用与水资源供水量之间的关系,提出灌区用水方式优化配置方案。

1.2 已有研究基础

1.2.1 相关课题或项目

1.2.1.1 移民安置综合开发项目

为了解决甘肃中部干旱地区和南部高寒阴湿山区 11 个县数十万人的贫困问题,甘肃省与世界银行签署疏勒河流域农业灌溉暨移民安置综合开发项目(简称移民安置综合开发项目)协议,开发疏勒河流域水土资源。1994 年,移民安置综合开发项目完成可研报告;1995 年,世界银行专家对移民安置综合开发项目进行正式评估。移民安置综合开发项目经国务院批准,列入国家“九五”计划甘肃省重点项目。

移民安置综合开发项目概算总投资 26.73 亿元,在疏勒河上游建设了昌马水库水利枢纽工程,疏勒河流域年供水量增加到 10.86 亿 m^3 ,增加 71%;改扩建昌马、双塔和花海 3 个灌区的灌溉系统,渠系水利用系数得到较大提高,昌马灌区和花海灌区由 0.54 提高到 0.62,双塔灌区由 0.43 提高到 0.62。灌溉面积由 65.4 万亩(1 亩 = $1/15 \text{ hm}^2$,下同)发展到 147.3 万亩,新增 81.9 万亩,其中昌马灌区新增 47 万亩,达到 85.3 万亩,双塔灌区新增 24.3 万亩,达到 46 万亩;花海灌区新增 10.6 万亩,达到 16 万亩。

1.2.1.2 “九五”科技攻关

改革开放以来,国家针对西北地区水资源紧缺,供需矛盾日益突出,生态环境逐步恶化等水与经济社会发展、水与生态环境保护之间的关系,在“九五”国家重点科技攻关计划中安排专项经费,组织大批科研力量,开展了“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”。其中,有关疏勒河流域水资源方面的研究专题有“疏勒河流域生态环境变化趋势及保护对策研究”“疏勒河流域水土资源合理利用及承载能力研究”。

在西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究中,王浩、陈敏建等主要有十方面的突出成果,一是提出了内陆河流域的水资源二元演化模式;二是提出了基于二元模式的水资源评价层次化体系;三是提出了干旱区水分—生态相互作用机制;四是建立了干旱

区生态需水量的计算方法;五是提出了针对西北生态脆弱地区的水资源合理配置方案;六是提出了干旱区水资源承载能力计算方法及重点区不同发展阶段的水资源承载能力;七是第一次大规模引入遥感信息和 GIS 技术,对西北干旱区水资源与生态系统相互关系进行了研究;八是系统进行了 1/3 国土面积上的水资源评价;九是在地下水方面结合近年钻孔资料填补了空白区,按潜水与承压水分别进行了重新评价,提出了地下水资源量及其分布和可开采量及其分布;十是提出了西北地区水资源可持续利用的整体战略,包括区域发展战略、生态环境保护战略、水资源开发利用战略。

疏勒河流域生态环境变化趋势及保护对策研究项目针对疏勒河内陆流域生态环境特点,从流域可持续发展出发,将生态环境与水土资源开发利用、社会经济发展三者紧密联系在一起,建立多层次动态生态环境预警分析定量计算模型及干旱内陆河流域水质预测的人工神经网络模型,对疏勒河流域在不同水平年和发展情景进行生态环境变化趋势进行分析,建立了疏勒河流域生态环境预警分析指标体系,总结分析了疏勒河流域主要生态环境因子与地下水位、土壤水盐状态的相互关系。

疏勒河流域水土资源合理利用及承载能力研究项目主要进行了疏勒河流域水土资源承载能力分析研究方法研究、水土资源承载能力与移民可容纳量分析评价。在现状分析的基础上,确定不同水平年水土资源开发利用方案,进行土地生产力评价,确定区域土地资源人口承载能力。

1.2.1.3 水资源综合规划

新中国成立以来,党和政府非常重视疏勒河流域水土资源开发利用,早在 1950 年就进行了疏勒河干流水土资源开发利用的前期勘查规划。1966 年甘肃省河西建设委员会修编了《疏勒河水利规划》,并编制了安西总干渠的初步设计;1984 年编制了第三次《疏勒河流域水利规划》。据 1995 年编制的《疏勒河流域规划报告》,研究区平原年平均降水量很少,基本不产生径流,所以流域地表水源主要为以山区降水为主的混合性补给河流,冰川融水补给平均占 28.54%。地表水资源为疏勒河干流和石油河两河的河道径流量。根据 1952~1989 年 37 年一系列计算成果,疏勒河干流多年平均径流量为 10.31 亿 m^3 ,石油河地表水资源量为 0.51 亿 m^3 ,流域地表水资源量合计 10.82 亿 m^3 。移民安置综合开发项目实施前地下水补给资源量为 11.14 亿 m^3 ,其中与地表水重复(河道、渠系、田间渗入)量为 10.09 亿 m^3 ,与地表水不重复量 1.05 亿 m^3 。项目实施后地下水补给资源量降至 7.41 亿 m^3 ,其中与地表水不重复量 0.72 亿 m^3 。由此可见,该规划报告依据疏勒河流域社会经济发展现状,考虑流域水资源条件和土地开发现状,确定 2010 年疏勒河流域规划灌溉面积 150 万亩。

1.2.1.4 甘肃河西走廊(疏勒河)项目

2000 年疏勒河管理局委托甘肃省水利水电勘测设计研究院进行“河西走廊(疏勒河)项目——灌区水文地质勘查及地下水动态预测研究”。该研究对疏勒河流域三大灌区进行水文地质详查工作,研究了各灌区地下水、盐动态及变化规律。在考虑各种环境因素和边界条件的情况下,应用数值分析、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定量地分析和预测。

《河西走廊(疏勒河)项目——灌区水文地质勘查及地下水动态预测研究》结论中称“疏勒河流域农业灌溉暨移民安置综合开发工程”完成后,与2000~2003年相比,疏勒河干流地表水引用量与引用率分析由5.53亿 m^3/a 、44.3%分别提高到6.66亿 m^3/a 、64.6%;渠系水利用系数由不足0.50提高到0.62;地下水开采量从0.4236亿 m^3 减少为0.19亿 m^3 ;灌溉面积由65.4万亩增加到106.22万亩,致使项目区水循环条件有较大的变化,地下水的补给形式和补给量也将有较大的变化。

1.2.2 相关文献综述

1.2.2.1 出山口径流变化

随着全球气候变暖,疏勒河出山径流量发生一定变化,对此已有许多成功研究:丁宏伟等采用滑动平均、逐步回归和频谱分析等方法,对疏勒河出山径流量年际动态变化特征进行了分析,认为从20世纪50年代到90年代末期,疏勒河出山径流大致经历了3个枯水期、4个丰水期和2个丰枯水频繁交替期,认为21世纪开始的若干年内,疏勒河出山径流量将呈现一个缓慢的上升趋势,期间的年平均流量高于多年平均值;蓝永超等利用祁连山区水文站和气象站的观测数据,采用线性趋势分析、Man-Kendall趋势分析和突变分析等方法对近50年疏勒河流域山区气候变化对出山径流的影响进行研究,结果表明近50年疏勒河流域山区气温呈明显上升趋势,山区降水量变化虽然年际波动较为剧烈,但总体呈增加趋势,20世纪90年代中期以后,疏勒河流域出山径流均呈持续增加的趋势,在年径流总量中占比重最大的夏季径流量的增加主要是由气温上升所引起的冰雪融水补给的增加造成的。

基流是河川径流的重要组成部分,董薇薇等采用递归数字滤波法和平滑最小值法对日径流进行基流分割,对比分析基流和基流指数BFI的变化特征,表明基流变化总体呈上升趋势,进入21世纪基流量增加最为显著,同时降水量是基流变化的主要影响因素。

1.2.2.2 地下水资源评价

20世纪90年代起,不同部门在疏勒河流域进行过多次不同目的的水文地质普查与勘察工作,基本查明了流域水文地质条件、水资源转化和循环规律,评价了流域地下水资源量,初步分析了疏勒河项目的灌区开发对地下水及其生态环境的影响。在河西走廊(疏勒河)项目灌区地下水动态预测研究工作中(2000年),初步查明疏勒河流域中、下游三大灌区的地下水资源量,并以地下水动态观测数据为基础,建立了昌马灌区、双塔灌区和花海灌区水文地质模型,运用地下水系统数值模拟,分析预测了项目规划条件下地下水动态变化。在疏勒河流域地下水资源合理开发利用调查评价工作中(2004年),建立玉门—踏实盆地、安西—敦煌盆地、花海盆地地下水三维水流模拟模型,评价流域地下水资源量。

1.2.2.3 水资源开发利用

疏勒河流域中下游由玉门—踏实盆地、安西—敦煌盆地、花海盆地组成,包括昌马、双塔及花海三大灌区。以灌溉农业经济为主,水资源开发利用程度较高。从用水结构来看,农业用水量占总用水量83%。

水资源开发利用存在的问题主要有:水资源相对短缺,用水矛盾突出,尤其是农业灌

溉与生态用水的矛盾突出;水资源利用率偏低,相应的节水工程和灌溉技术落后,粗放低效的大水漫灌使得水资源浪费严重;灌溉规模扩大,地下水开采过度,三大灌区部分地区超采,泉水出露量也逐年缩减。

1.2.2.4 水资源优化配置

水资源优化配置是可持续开发利用水资源的有效调控措施之一,对社会、经济以及环境的协调发展具有重要意义。马莉从水资源用户的角度出发,充分考虑流域社会、经济和生态环境用水综合效益,将多目标划分为生活、工业、农业、第三产业和生态环境用水部门的综合效益最大,在优先保证生活用水的前提下,探讨用水效益最优的供水方案。结果认为偏重生活用水,社会效益最大;偏重工业用水,经济效益明显;偏重农业用水,用水总量减少。

1.2.2.5 水化学及同位素

水体中的化学成分及同位素信息在认识流域水资源来源及转化规律得到很好的应用。周嘉欣等在系统收集了疏勒河流域上游河水、地下水、降水和冰雪融水水样的基础上,对地表水中主要离子组成及控制因素进行了分析。结果表明,流域碳酸盐溶解是控制河水水化学的主要因素,地表水同时受大气降水和地下水补给并主要依靠地下水补给。

何建华综合运用水文地球化学和同位素技术,在对流域地下水水文地球化学演化、含水层水流系统识别的基础上,构建了该区地下水的 ^{14}C 校正模型。结果显示流域地下水化学演化受蒸发浓缩、溶滤作用,以及碱化环境中的离子交换和同离子效应影响较大。流域地下水始于1.6万年前,大多数承压水年龄分布在3 000~7 000年间。

1.2.2.6 其他相关研究

张军等利用生态足迹法研究了疏勒河流域水资源承载能力,结果表明,该流域水资源开发潜力不大,未来在水资源管理方面应采取加强民众节水意识教育、调整产业结构等。罗万峰结合昌马灌区地下水环境的实际,建立了反映地下水环境现状的三个层次13个指标构成的指标体系,对灌区11个典型区域进行了地下水环境的综合评价,表明该地区的地下水环境状况处于一般水平。张明月运用层次分析法,建立了昌马灌区水资源脆弱性评价指标体系,分析了灌区的自然脆弱、人为脆弱和承载脆弱等敏感指标,结果表明,灌区水资源综合脆弱性处于微脆弱态势,自然脆弱性最小,对灌区水资源脆弱性影响最大。

1.2.3 以往工作评价

在前人的研究成果中,疏勒河水资源有关的研究较多,但关于疏勒河流域地下水资源量评价的只有甘肃河西走廊(疏勒河)项目,在该项目成果中,对“疏勒河流域农业灌溉暨移民安置综合开发工程”实施前后的疏勒河灌区,采用水均衡分析法对地下水资源量进行了评价。评价结果表明,“疏勒河流域农业灌溉暨移民安置综合开发工程”实施后,项目区水循环条件有较大的变化,地下水的补给形式和补给量也将有较大的变化。昌马灌区均衡差由 $-0.4793\text{亿 m}^3/\text{a}$ 改变为 $-0.4650\text{亿 m}^3/\text{a}$,双塔灌区由负均衡 $-0.0741\text{亿 m}^3/\text{a}$ 改变为正均衡 $+0.1698\text{亿 m}^3/\text{a}$,花海灌区由负均衡 $-0.1394\text{亿 m}^3/\text{a}$ 改变为正均衡 $+0.0886\text{亿 m}^3/\text{a}$ 。昌马灌区均衡差变化的原因主要是地下水补给组成发生了较大的变化,补给量增加。双塔灌区地下水补、排呈正均衡状态,地下水补给量增加是由于双塔

水库富余水下放,增加了河道渗入补给量。花海灌区地下水补给量增大主要是因为花海总干渠引水量大大增加,渠系入渗量较现状变化较大。

1.3 主要研究内容及技术路线

1.3.1 主要研究内容

本课题研究内容根据各章节之间的关系大致可分为四个部分九个章节。第一部分,现场监测,主要为现场监测数据的分析;第二部分,机制研究,主要包括水化学及同位素历史演变规律及地下水动态变化特征分析两部分内容;第三部分,模型构建,主要包括地下水资源评价方法的介绍及水资源量计算两部分内容;第四部分,提出灌区水资源优化配置方案。

第一部分,现场监测,即书中第3章内容。该部分主要对野外开展的监测工作进行总结,同时对监测数据进行分析。在充分收集前人工作成果的基础上,补充了地下水动态和泉流量监测、开展了水化学及同位素样品的采集和测试、选取典型地块,对土壤含水率和土壤容重进行了监测,同时对灌区水文地质参数进行了测试。现场监测的数据是进行灌区水量、水质历史演变分析、计算不同时期地下水资源量及提出水资源优化配置方案的数据基础。

第二部分,机制研究,即书中第4章、第5章和第6章内容。第4章研究灌区从1987~2013年的土地/覆被变化情况,计算了不同时期灌区地下水资源量,分析了土地利用对地下水资源量的影响。第5章通过水位历史及现状监测资料,分析了灌区地下水动态变化及流场分布情况。第6章研究灌区内水化学及同位素历史演变规律,分析了灌区地下水化学类型、离子成分及其时空演变规律,利用同位素资料,推测了地下水的补给来源,计算了地下水年龄和补给高度,为查明地下水与地表水的转化规律、认识水资源循环演变过程和机制奠定基础。

第三部分,模型构建,即书中第7章、第8章内容。第7章在掌握水资源转化规律的基础上,建立了基于水资源系统的地下水资源均衡模型,介绍了模型的构建思路、计算方法及过程。第8章利用基于水资源系统的地下水资源均衡模型计算了花海灌区不同时期地下水资源量。

第四部分,提出灌区水资源优化配置方案,即书中第9章内容。基于WRMM模型构建了花海灌区的水资源优化配置模型,提出配置思路及措施。第10章为本书结论。

1.3.2 技术路线

(1)根据研究内容制订详细工作计划。

(2)收集资料:收集相关地质、水文地质、水资源开发利用、地下水位历史数据、灌溉等相关资料,并对数据进行整理分析。

(3)现场监测:在灌区开展地下水位、地表水流量及田间耗水量的监测工作;开展地下水、地表水及土壤样品采集、测验工作;开展水文地质参数测试工作。

(4) 地下水水量、水质历史演变规律研究:在历史资料、现场监测数据分析的基础上,计算灌区不同时期地下水资源量,研究水化学及同位素演变规律,查明灌区水资源循环演变过程及机制。

(5) 水资源均衡模型研究:在分析已有研究成果和评价方法的基础上,结合资料分析,提出基于双约束条件下的水资源均衡概念模型;在水资源均衡概念模型的基础上,结合现场监测数据,确定模型参数,建立数值模型并求解。

(6) 水资源优化配置研究:在查明灌区水资源量的基础上,科学配置水资源,提出灌区用水的基本思路和措施。

技术路线见图 1-1。

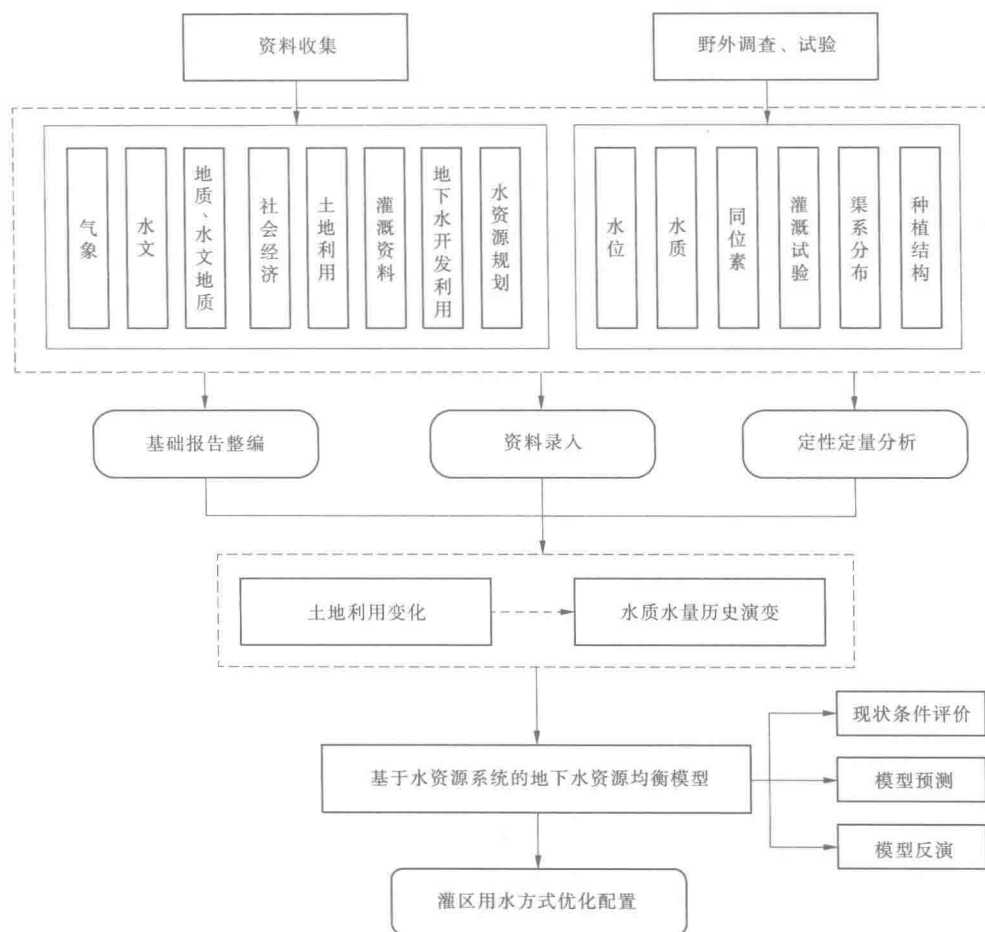


图 1-1 技术路线

1.4 难点与创新点

1.4.1 难点

目前,地下水资源评价多以地下水系统为研究对象,采用均衡计算方法,往往因为只考虑地下水系统的自身平衡,数据得不到校准和限制。基于水资源均衡系统,在水资源系统总量作为约束条件下,计算地下水资源量,尚没有相关资料可以借鉴。

地表水与地下水的数量级不同,如若简单进行叠加,地下水资源量将会忽略不计,如何找寻可操作性强的地表与地下耦合计算方法是研究需要解决的问题之一;疏勒河流域面积较大,三大灌区的水文地质条件存在差异,且水资源开发利用程度不尽相同,对三大灌区进行详细分析计算,工作量大,时间紧,难度不小,经费不足,这也是本研究需要克服的难点之一。

1.4.2 创新点

本课题通过对疏勒河灌区地下水历史演变规律与评价方法的研究,在对前人研究成果分析、比较的前提下,提出双重约束下的地下水资源量评价方法,并把该评价方法在疏勒河灌区运用,提出灌区地表水、地下水联合调度用水优化配置方案。因此,本课题的主要创新点可以归纳为如下三个方面。

1.4.2.1 评价方法创新

目前,针对地下水资源评价的往往基于地下水系统建立均衡方程,或者使用专门的地下水数值模拟软件,并不考虑地表水循环的约束,或者只是将地表水作为模型的源汇项(输入输出条件),对地表水循环缺乏真正的耦合。这种基于地下水系统的水资源量计算方法只考虑了地下水系统自身的平衡,是一次平衡计算结果,数据没有在水资源系统中统筹和协调,没有把水资源总量作为限制因素加以考虑,所以使得计算结果缺少约束,往往把地下水资源量算大了。特别是在我国西北内陆河地区,地表水与地下水相互转化频繁,水资源量的重复计算是影响地下水资源量准确的重要因素,因此对地下水资源进行评价也必须在评价水资源总量的基础上进行,考虑水资源系统的统筹和协调。本课题建立的基于双重约束下的水资源均衡模型,在上述地下水系统约束下,增加水资源系统的约束,在地下水补给、排泄分析的前提下,用水资源总量加以约束,使得地下水资源可开采量不会超过补给量,保持地下水系统均衡,使地下水资源开发利用可持续,保证灌区长治久安发展。因此,在地下水资源评价方法上是一次全新的尝试。

1.4.2.2 计算手段创新

在原有地下水均衡方程的基础上,增加水资源均衡方程,在求解过程中,将地下水均衡方程数值化,同时把水资源均衡方程作为约束条件,通过拟合调整模型参数,使得基于双系统的方程达到平衡,模型的求解结果最终满足进区水量等于区内消耗水量加出区水量。

考虑到水文地质参数、水文变量的空间变异性,采用集总式和数值模拟相结合的计算方法,不仅可以将地下水系统刻画得更贴近实际,同时与水资源系统联立拟合调参,达到

地表水系统和地下水系统有效耦合的目的。

因此,本课题的开展从地下水资源评价计算手段上也是一次有益的创新。

1.4.2.3 研究领域创新

现有的地下水资源评价方法只在地下水系统中分析、计算。本课题的评价方法同时在地下水系统和地表水系统两个系统中分析、计算,增加约束条件,计算结果更加接近实际。因此,本课题研究领域的扩展也是地下水资源评价的一次创新。