

黑河流域水资源管理模式研究

李元红, 孙栋元, 胡想全, 王军德, 程玉菲, 卢书超

(甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 水资源管理模式是提高水资源动态管理的有效方式, 为水资源高效配置和合理利用提供技术支撑。针对黑河流域水资源利用现状与存在的问题, 分析和探讨了基于生态需水、水权框架、模拟模型和水资源信息系统的黑河流域水资源管理模式, 展望了未来流域水资源发展方向。指出在未来应加强人类活动影响下流域水资源污染研究, 流域地表水与地下水联合调度管理和水资源合理配置与流域集成管理研究。

关键词: 水资源管理模式; 生态需水; 水权; 模拟模型; 集成管理; 黑河流域

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)02-0062-05

Pattern of water resources management in Heihe River basin

LI Yuanhong, SUN Dongyuan, HU Xiangquan, WANG Junde, CHENG Yufei, LU Shuchao

(Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The pattern of water resources management is an effective mode for improving water resource dynamic management, and offering technical support for water resource high-effective collocation and rational use. Based on the status and problems of water resources, the patterns of water resources management of ecological water requirement, water rights system, simulation model and water resources information system in Heihe river basin were analyzed and discussed. The trends of water resources development were prospected. It proposed that impact of human activities on water resources pollution, surface water and groundwater conjunctive regulation management and reasonable water resources allocation and integrated water resources management in basin scale should be studied in the future in Heihe river basin.

Key words: pattern of water resources management; ecological water requirement; water right; simulation model; integrated management; Heihe river basin

在干旱和半干旱区, 水资源是最宝贵的自然资源, 它不仅是荒漠绿洲形成、发展和稳定的基础, 也是环境的必要和有机组成部分, 更是维系生态系统和流域生态安全与经济社会和谐发展的决定性因素^[1-3]。然而, 随着人口与经济的增长, 可利用水资源不足成为区域生态恢复、经济发展和人民生活水平不断提高的限制因素, 同时水环境又不断恶化, 水资源短缺已成为全球性问题^[4]。对水资源进行高效管理, 正是兼顾人类生存与发展行之有效的水资源综合管理措施。通过水资源的有效管理, 实现地表水、地下水、再生水等多水源联合调配, 提高水资源利用效率, 改善区域生态环境, 促进区域经济、社会与环境协调与可持续发展。

黑河是我国第二大内陆河, 流经青海、甘肃、内蒙古三省区。它是河西走廊绿洲的支柱, 北部沙漠

的命脉。水资源是该流域维持生态平衡的主要保障, 是绿洲发育的生命源泉。由于区域脆弱的水资源基础条件以及人类活动对水资源的过度和无序的开发利用, 导致了植被退化、土地沙化等一系列问题, 给当地人民的生产和生活带来了严重危害和威胁。有限的水资源既要保证上中游工农业生产的正常需求, 又要确保向下游输水, 恢复下游生态环境^[5-8]。为缓解黑河下游河湖干涸、荒漠化、生态环境恶化的局面, 实行以水资源合理配置为核心的流域水资源综合统一管理是保障水资源与生态安全的唯一选择, 在水资源有效管理的基础上达到水资源开发利用与生态环境保护的长治久安。流域水资源高效管理涉及到人-生态环境-社会经济这个复杂巨系统的不同子系统和不同层面的多维协调关系。本文基于已有的最新研究成果, 探讨黑河流域水资

收稿日期: 2012-12-11; 修回日期: 2013-01-06

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目(91125018); 水利部公益性行业科研专项(201001060); 甘肃省技术研究与开发专项计划项目(1205TCYA005、1105TCYA008)

作者简介: 李元红(1955-), 男, 甘肃宁县人, 教授级高级工程师, 主要从事水资源、河流泥沙、农村雨水利用方面的研究。

通讯作者: 孙栋元(1978-), 男, 甘肃民乐人, 博士, 高级工程师, 主要从事水文水资源方面的研究。

源管理模式,为流域水资源高效利用和合理配置提供可借鉴模式,从而达到水资源合理开发利用、经济社会可持续发展和生态环境良性循环的目的,为政府宏观调控与决策提供可借鉴依据。

1 存在问题

1.1 水资源严重短缺,供需矛盾突出

黑河流域社会经济集中的中下游地区,降水稀少,蒸发能力大,过境水量是其主要水源。按照水利部《黑河水量分配方案》确定的正义峡下泄水量,中游张掖市人均水资源量只有 1 250 m³,为全国平均的 61%。按现有人口增长速度,到 2015 年,人均水资源量将降为 1 000 m³,属严重缺水地区。此外,黑河径流年内分配不均,来水与需水过程很不协调,干流缺乏骨干调蓄工程,客观上加剧了水资源供需矛盾。

1.2 水资源供需失衡,经济用水挤占生态用水

解放以来黑河中游地区大规模垦荒种粮,灌溉面积由解放初期的 10 6667 ~ 120 000 hm² 增长到目前的 282 440 hm²,从黑河流域现状用水地区分布看,中游用水占全流域用水的 82.16%,从用水结构来看,中游地区的农业仍然是用水的主体,其用水量占总用水量的 95%,其中农田灌溉、林牧业用量分别占 87.12% 和 7.17%^[9],该地区也是我国西部重要的粮食基地,仅河西走廊的张掖地区年产粮食约 80 万 t,其产量占甘肃省粮食总产量的 17% 左右,提供的商品粮占全省商品粮的 35%^[10]。农业和国民经济其他部门用水的增长,挤占了中下游地区尤其是下游地区的生态用水,由于中游水资源供需平衡明显受区域过境水量控制,并且随着黑河流域统一调水措施的实行,如何在现有的水资源条件约束下,在确保中游地区生产用水的前提下,确保下游地区的生态环境需水量。

1.3 供用水结构不合理,水资源利用经济效益低下

黑河流域用水以农业用水为主,用水结构优化推进缓慢,农田用水结构造成区域单方水 DGP 产出偏低,导致水资源利用经济效益低下,而水资源配置方案和水权制度的完善进展不足,成为农田灌溉用水供给量居高不下的首要原因。农田节水改造工程实施工作受群众认识不足、作物类型、种植技术、轮作倒茬、土地经营方式的制约以及工程后期维护更新费用无保障的影响,使得节水改造工程难以全面推广,导致农田灌溉用水需求难以下降。

1.4 水污染潜在威胁大,水源地生态系统状况堪忧

流域内第二产业污水排放量是污水排放总量的

主体,工业废水排放比重得不到有效缓解,污水处理能力提高缓慢,水资源再利用能力迟迟得不到改良,工业企业水资源循环利用意识落后,使得黑河流域水资源管理效率低下。另外中游区农田灌溉化肥施入量相对较高,通过各种途径进入干流,出山口干流水质为 I 类,中下游降为 II - III 类。同时流域内工业废水处理设备老化,废水处理能力低下、工业企业废水处理和水资源循环利用经营理念差,导致工业废水排放量居高不下。流域工业废水排放监控系统建设不健全、流域内工业废水排放奖惩措施不明确、政府过度追求 GDP 指标而忽视对生态环境的影响,是导致黑河流域水质恶化加剧的外部因素。

1.5 用水管理不够完善,管理制度不健全

黑河中下游地区用水计量、水费征收、取水计划及监督管理工作均不够完善,中、下游之间,中游地区的各县之间管理力度不一。在时间上,非灌溉季节的管理也较灌水高峰期松弛,大量无效用水发生在这一时段,造成水资源的浪费。流域内涉及到的取水许可与水资源有偿使用制度、水功能区制度、水资源论证制度、总量控制和定额管理制度、河道采砂许可制度等,由于管理等方面原因,这些制度还存在一定问题,同时由于执法不严,违法和干扰管理现象也较为普遍。

2 黑河流域水资源管理模式

随着水资源问题的日益突出,结合黑河流域水资源研究现状,以改善生态环境、水资源高效管理为目标,在流域生态 - 水文 - 经济综合研究的基础上,探讨基于生态需水、水权框架、模拟模型和水资源信息系统的黑河流域水资源管理模式,提出在未来应加强地表水与地下水联合调度管理和流域集成管理研究(图 1)。

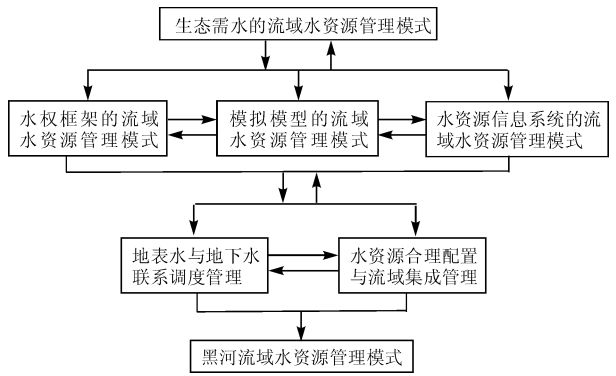


图 1 黑河流域水资源管理模式框图

2.1 基于生态需水的流域水资源管理模式

为了扭转和改善黑河下游植被退化、土地盐碱

化和荒漠化、地下水位下降和水质恶化以及河湖水域面积减少的生态环境问题,通过《黑河流域水量分配方案》的执行,基本实现了水资源管理中恢复和维持生态系统健康发展所需要的水量^[11]。而为了进一步维持和改善下游及尾间生态系统,优化水资源配置,使进入额济纳绿洲水量全部用于生态恢复、改善和饲草料种植,实现生态效益最大化,并确保下游湿地的良性发展,维持湿地生态功能,进一步实现满足生态需水的流域水资源管理模式还必须达到如下需要。

2.1.1 流域生态环境和社会可持续发展的需要

生态环境是人类生存发展的基础自然资源,生态环境不仅为人类提供食物医药及其它生产生活资料,而且还提供了人类赖以生存的自然环境条件,它对维持水文循环、净化空气、抵御自然灾害等起着重要的作用^[12]。黑河流域下游额济纳绿洲区是我国第二大胡杨林生长基地,是西北地区阻挡风沙进入内陆区的天然绿色屏障,作为边疆生态保护的前沿阵地,下游生态环境关系到我国的边疆稳定、民族团结和国防建设。流域的水文过程控制着生态过程,对流域生态系统的稳定性有着直接影响,同时也决定流域生态安全。加速流域生态环境的恢复和保护,对促进区域经济的发展 and 人民生活水平的提高,改善流域自然生态系统的功能具有重要意义。因此,生态环境的稳定性发展是社会可持续发展的保障和基础。

2.1.2 流域生态系统良性循环的需要 水资源作为生态系统的控制性因素之一,深刻地影响着生态系统中一系列的物理、化学、生物过程,只有保证了生态系统对水的需求,生态系统才能维持动态平衡,进一步为人类提供了最大限度的生态效益、经济效益和社会效益。要实现流域水资源与生态系统之间的协调发展,必须对流域水资源进行合理的配置,协调好流域上、中下游用水问题,处理好农业用水和生态用水比例,处理好地表水和地下水的关系,确定出不同区域地表水地下水开发利用的适宜比例和布局,通过地表水地下水联合调度,减少水分的无效损耗,合理安排和分配地区之间、部门之间经济用水的关系,统一配置社会经济用水和生态环境用水,实现流域水资源的高效合理利用,促进社会经济及生态环境的可持续发展^[13-14]。

2.1.3 流域不同生态恢复目标的需要 根据黑河流域生态保护和生态恢复目标,在分析流域生态环境现状、生态敏感性和生态演化的基础上,结合流域

生态环境治理存在问题,进行流域生态功能分区,确定生态治理重点区,提出生态保护与恢复目标原则与方法,研究不同生态分区服务功能和空间分布规律。从水资源调配和生态景观角度进行生态需水分区,研究流域生态需水内涵、需水类型以及不同类型的生态需水特征;根据生态保护与恢复目标,确立不同目标下流域生态需水时空分异特征,提出流域生态需水研究技术与方法;建立基于生态过程的不同类型(天然植被需水量、湖泊河道蒸发需水量、地下水位恢复需水量等)生态需水量化模型,确定不同保护目标下适宜生态需水量^[15-16]。

2.2 基于水权框架的流域水资源管理模式

水权,一般是指水资源所有权、使用权、水产品与服务经营权等与水资源有关的一组权利的总称^[17]。水资源的所有权是水资源分配、使用和处置的基础,水资源使用权是水权配置的依据。水权转移是指需要获取水权者从水权拥有者(国家或其他占用者)手中,通过法定的程序获得水权,从而使水权从一方转让给另一方。在水资源日益短缺的背景下,要使水资源合理有效利用,需要建立和完善水权分配机制,在水市场中利用水权分配机制优化配置水资源,用利益关系的调节刺激节水制度建设,建立基于水权制度的水资源管理体系,完善水权分配的调控体系。从2001年开始,黑河流域的甘肃省张掖市实施水权制度建设,开始实行水权转换交易,用水关系转变都已在现有取水许可的基础上初具水权管理的基本特征。推行取水权转让、开发利用权转让和各行政区域的水量转让监控体系建设,实现水资源取水许可制度、开发利用权控制和区域水量分配的有效和动态管理,发挥水市场的宏观调节,促进水资源公平合理配置与高效可持续利用。流域分配水资源时,应充分考虑社会经济发展的潜在因素和未来发展需要,逐步签订多层次的水资源分配协议,并将水资源开发与水权紧密相连,形成了一个较为完善的水资源开发和管理法制体系,使“以供定需”的水资源观念自然而然地成为经济社会发展的一条常识性法则,并在法律体系的保障下得以严格执行。流域内建立以水权为核心的水资源管理体制,通过立法或合约形式,逐步建立流域内省际、省内、地区、县等多层次多级分水协议。黑河流域水资源使用权合理分配模式,采用多目标多层次大系统理论,以流域可持续发展思想为指导,以促进流域经济、社会及生态环境的协调发展为目标,进行流域水资源可利用量在不同部门之间的合理分配,探讨某一规划水

平年最佳综合耗水效益下的水资源使用权合理分配方案。流域水权分配的合理性反映在水资源分配中解决水资源供需矛盾、各类用水竞争、上下游左右岸协调、不同水利工程投资关系、经济与生态环境用水效益、当代社会与未来社会用水、各种水源相互转化等一系列复杂关系中相对公平的、可接受的水资源使用权分配方案^[18-19]。加强水权交易市场的监控力度,完善市场水价形成机制,积极探索适合黑河流域的水权转让和管理方法,培育用水权交易市场监控体系,实行用水权有序有偿转让,引导水资源向节水、高效领域配置,提高水资源的利用效率和效益。

2.3 基于模拟模型的流域水资源管理模式

基于水资源模拟模型实现流域水资源配置,为流域水资源高效管理提供动态模拟方法。模拟模型扮演了评判者的角色,用来评估水资源系统在全球气候变化、干旱和用水优先权的不断改变等情况下的系统运行状态。基于流域径流模拟模型、分布式水文模型、生态水文模型,模拟流域产流过程,径流特征,识别流域不同地带地表水与地下水相互转化关系,模拟其转化规律和水资源配置问题,进行流域水循环系统模拟与验证,预测未来环境变化条件下流域水资源演变规律^[20-23]。基于水资源优化配置模型、流域水质模拟模型、水资源模拟模型,提出流域水库供水规则、地表水供水规则、地下水供水规则和外调水规则,模拟在不同目标函数和约束条件下流域水资源在不同部门之间的优化配置,并对不同水质的水量使用问题进行优化,提出流域多目标水资源规划方案,探索流域地表水与地下水联合利用潜力,实现流域水资源的空间分配、时间分配和部门分配,充分体现模拟模型在多水平年、多层次、多用户、多水源、多工程的动态耦合特性^[24-25]。根据模拟模型可对不同水资源开发利用方式、不同产业结构、不同水利工程组合以及不同生态环境保护目标下的各种方案进行模拟与调算,得到各方案不同计算单元的供需平衡结果,水利工程的调度过程、弃水情况、河流与渠道过流情况、地表水地下水转化情况以及向下游的泄水过程。模型通过人机交互对不同方案进行决策,为实现黑河流域生活、生产用水及生态用水的统一配置提供有力的技术支持。基于黑河流域水资源配置目标,建立由水量模型、水质模型、经济分析模型和生态环境分析模型等子模型构成的量与质的面向经济发展和生态环境保护的多目标协调配置模型,为流域或区域水资源可持续开发与社会经济的协调发展提供参考,为流域水资源预测、模

拟、优化以及高效管理提供决策依据。

2.4 基于水资源信息系统的流域水资源管理模式

水资源管理信息化是水利信息化的重要组成部分,也是水资源定量化与科学化管理的必然要求,水资源信息数据包括水文地理、水资源、水资源利用、水资源保护及水资源管理等信息。针对黑河流域实际情况和流域发展的现实需求,提出了“宏观总控、长短嵌套、实时决策、滚动修正”的流域水资源实时调度模式,并利用自适应控制理论方法,建立了黑河流域水资源实时调度模型系统,模型系统包括中长期径流预报模型、降雨径流预报模型、土壤墒情预报模型、地下水模拟模型、中长期水资源调度和短期实时调度模型,根据长期和短期来水预报、气象预报和需水预测,以及流域水资源系统蓄、引、提等实时状态进行优化计算并做出最佳调度决策^[26-27]。加快水资源信息系统的建设,更新充实常规技术装备,引进先进仪器设备,改进水资源信息管理系统方式,建立技术先进、准确及时的水资源信息监控系统,推进水情信息采集和传输自动化建设,加强水资源信息监控能力现代化建设。

针对黑河流域水资源监控方面存在的问题,将加强水需求管理信息过程的体系结构建设,得到各类用水过程中的信息从微观层面(终端消费者、用户)到宏观层面(行业、区域及管理部门)以及各层级之间传递和反馈;建立以行业水资源数据库、用户身份识别方法库、定额计算指标确定方法库、专家知识库以及决策支持库为基础的水资源监控体系,实现水资源监控能力信息平台建设,为水资源合理配置提供决策基础。基于黑河流域“数字水资源管理”系统的建设,加强各河段的水质监测,制定和不断调整水功能区划,加强监督检查,严格控制入河排污量,保证污染不超标。“数字水资源管理”系统按照水资源保护信息化、数字化的法规、标准、规范和安全体系框架要求,全面开发水质信息资源,健全信息化、数字化的管理体制,从传统的水资源管理向现代化的水资源管理和可持续发展方向转变,提高现代化管理的效率和效能,逐步建成一个与可持续发展相适应的,能全面支持黑河流域水资源管理工作的数字化体系,实现监测技术现代化、数据采集自动化、信息资源共享化、管理决策智能化^[28-30]。

3 结论与展望

总体看来,随着水资源问题的日益突出,结合黑河流域水资源研究现状,以改善生态环境、水资源高

效管理为目标,综合水文水资源学、水文地质学、生态学、社会经济学、气象学和政策制定等方面复杂的相互关系,从而流域水资源优化配置和综合管理的研究领域也在不断扩展,并在理论与方法上逐步得到完善。但要实现黑河流域水资源系统的可持续性发展,建议应从以下几个方面加强黑河流域水资源方面的研究。

3.1 加强人类活动影响下流域水资源污染方面研究

随着人口增长、城市化、农业、工业及商业活动,改变了流域原来的地表水与地下水流过程以及地下水补给条件,一些营养物质和污染物排放污染了水源,同时也加剧了对当地的淡水资源的需求。尽管流域内制定了相应的水功能区纳污能力、入河排污口管理、水功能区达标评估等监督管理体系,但发现在排污口、取水口、重点河段水质监测、大中型水库等方面的监督监管能力还比较薄弱,限制了流域水功能区的正常运行和管理。因此,应加强流域水功能区建设,控制不同水功能区排污量,同时进行不同河段水质监测,加强对污染物质的脆弱性研究,污染物质运移机理研究,寻找适合污染物质排放的地质单元体的研究,修复受污染的地质单元及评价流域水资源污染研究。

3.2 加强流域地表水与地下水联合调度管理

流域地表水-地下水联合调度和统一管理是水资源管理领域的一个重要方向,应建立黑河流域地表水-地下水联合调度管理信息系统,为区域水资源优化配置提供指导。研究动态配水模拟仿真技术与实时调控技术,进一步开发黑河流域用水群决策支持模型和动态配水管理软件;研究基于网络技术与3S技术相结合的灌区动态管理信息采集、传输和分析技术,开发集用水过程可视化、水量实时调度配置、用水测控管理一体化的黑河流域水资源利用信息化管理系统软件,以及用于表述数字灌区、数字渠系特征的计算机识别方法及数字化设计软硬件产品,实现黑河流域地表水与地下水联合调度系统运行管理模式。

3.3 水资源合理配置与流域集成管理研究

流域水资源配置中要合理解决河道外生产、生活、生态用水与河道内生态环境用水、水力发电等用水需求之间的矛盾,需要对水量与水质、水位、水面、流量、流速等水资源全要素进行配置。根据流域水、农业、生态协调发展的需要,完善流域生态-水文监测网络与流域信息系统,研究基于水-生态-经济耦合的水资源合理配置理论和方法。基于水-生

态-人类活动影响,研究人类活动影响下流域水环境与生态系统的整体耦合管理模式,综合考虑行政、市场、法律等手段,协调流域水资源可持续发展,促进流域公共利益最大化。建立以水权、水市场理论为基础的水资源管理体制,运用水权、水价理论调控水资源内部分配效益,通过水资源社会化管理提高水资源外部分配效益,促进经济、资源、环境协调发展,充实数字流域,建立流域水生态经济模型。探索一个多学科的、管理层参与的流域管理模型,提出可操作性的水安全、生态安全的决策依据和管理模式,最终形成公众参与的流域尺度水文、生态、经济综合的流域集成水资源管理。

参考文献:

- [1] 王浩,陈敏建,秦大庸.等.西北地区水资源合理配置和承载力研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003:1-249.
- [2] 程国栋,肖洪浪,徐中民,等.中国西北内陆河水问题及其应对策略——以黑河流域为例[J]. 冰川冻土,2006,28(3):406-413.
- [3] 孙栋元,赵成义,李菊燕,等.基于层次分析法的干旱内陆河流域生态环境需水评价——以新疆台兰河流域为例[J]. 水土保持通报,2011,31(5):108-115.
- [4] 左其亭,陈曦.面向可持续发展的水资源规划与管理[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.
- [5] 曹辉,黄强,畅建霞,等.黑河径流时空演变规律分析[J]. 水资源与水工程学报,2008,19(5):69-72.
- [6] 白福,李文鹏,黎志恒.黑河流域植被退化的主要原因分析[J]. 干旱区研究,2008,25(2):219-224.
- [7] 张济世,康尔泗,姚进忠,等.黑河流域水资源生态环境安全问题研究[J]. 中国沙漠,2004,24(4):425-430.
- [8] 曹玲,董安祥,窦永祥,等.黑河洪峰变化及其对全球气候变暖的响应[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(2):230-234.
- [9] 张凯,宋连春,韩永翔,等.黑河中游地区水资源供需状况分析及对策探讨[J]. 中国沙漠,2006,26(5):842-848.
- [10] 宁宝英,何元庆,和献中,等.黑河流域水资源研究进展[J]. 中国沙漠,2008,28(6):1180-1185.
- [11] 赵文智,常学礼,何志斌,等.额济纳荒漠绿洲植被生态需水量研究[J]. 中国科学(D辑),2006,36(6):559-566.
- [12] 戈峰.现代生态学[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [13] 肖生春,肖洪浪.黑河流域水环境演变及其驱动机制研究进展[J]. 地球科学进展,2008,23(7):748-755.
- [14] 程国栋.黑河流域水-生态-经济系统综合管理研究[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [15] Zhao W Z, Cheng G D. Review of several problems on the study of ecohydrological processes in arid zones [J]. Chinese Science Bulletin, 2002,47(5):353-360.

- (6):2387-2392.
- [14] 施练东,俞海平,朱建坤,等. 基于 SWAT 模型的汤浦水库流域非点源污染模拟[J]. 水生态学杂志,2011,32(3):66-70.
- [15] White M J, Storm D E, Busteed P R, et al. Evaluating potential phosphorus management impacts in the lake eucha basin using SWAT[J]. Transactions of the ASABE, 2011,54(3):827-835.
- [16] 薛可峰,王晓燕. HSPF 模拟及其在非点源污染研究中的应用[J]. 首都师范大学学报,2009,30(3):61-65.
- [17] 邢可霞,郭怀成,孙延枫. 基于 HSPF 模型的滇池流域非点源污染模拟[J]. 中国环境科学,2004,24(2):229-232.
- [18] Ashok Mishra, Kar S, Raghuwanshi N S. Modeling non-point source pollutant losses from a small watershed using HSPF Model[J]. Journal of Environmental Engineering, 2009,135(2):92-100.
- [19] Lyndon M Pease, Oduor P, Padmanabhan G. Estimating sediment, nitrogen, and phosphorous loads from the Pipestem Creek watershed, North Dakota, using AnnAGNPS[J]. Computers & Geosciences,2010,36(3):282-291.
- [20] Yuan Yongping, Megan H M, Ricardo D L, et al. Jackson. AnnAGNPS model application for nitrogen loading assessment for the future midwest landscape study[J]. Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA Online,2011,3(1):196-216.
- [21] 夏昊,王云鹏. AnnAGNPS 模型在龙门河流域面源污染模拟应用[J]. 环境科学与技术,2009,32(6C):39-43.
- [22] 胡轶,谢水波,蒋明,等. Visual MODFLOW Visual Modflow 及其在地下水模拟中的应用[J]. 南华大学学报(自然科学版),2006,20(2):1-5.
- [23] 尉鹏翔. Visual Modflow 在地下水污染物运移模拟中的应用[J]. 水资源保护,2011,27(4):19-22.
- [24] Seyed R Saghravani, Sa'ari Mustapha, Shaharin Ibrahim, et al. Simulation of phosphorus movement in unconfined aquifer by means of visual MODFLOW[J]. Journal of Computer Science,2010,6(4):446-449.
- [25] 祝晓彬. 地下水模拟系统(GMS)软件[J]. 水文地质工程地质,2003,30(5):53-55.
- [26] Souleymane K, Tang Zhonghua, Dong Shaogang. Evaluation of some organic pollutants transport into the shallow groundwater and surface water of Jiaying landfill area[J]. American Journal of Applied Sciences,2009,6(12):2010-2017.
- [27] 孙继成,张旭昇,胡雅杰. 基于 GIS 技术和 FEFLOW 的秦王川盆地南部地下水数值模拟[J]. 兰州大学学报,2010,46(5):31-38.
- [28] 蒙媛,施项,汪家权. 某市地下水的模拟计算与分析[J]. 地下水,2010,32(2):13-15.
- [29] 廖瑶,谦瑶,沈珍瑶. 农业非点源污染模拟不确定性研究进展[J]. 生态学,2011,30(7):1542-1550.
- [30] 薛利红,杨林章. 面源污染物输出系数模型的研究进展[J]. 生态学,2009,28(4):755-761.
- [31] 崔振东,唐益群,严学新,等. 地下水流与水质联合数值模拟应用研究[J]. 土木建筑与环境工程,2009,31(1):121-124.
- [32] 张倩,苏保林,罗运祥. 农田面源氮素垂向运移负荷估算方法综述[J]. 南水北调与水利科技,2010,8(3):35-38.

(上接第66页)

- [16] 孙栋元,赵成义,魏恒,等. 干旱内陆河流域平原区生态环境需水分析——以新疆自治区台兰河流域为例[J]. 水土保持通报,2011,31(4):82-88.
- [17] 彭祥,胡和平. 不同水权模式下流域水资源配置博弈的一般性解释[J]. 水利水电技术,2006,37(2):53-56.
- [18] 刘韶斌,王忠静,刘斌,等. 黑河流域水权制度建设与思考[J]. 中国水利,2006,21(6):22-24.
- [19] 钟华平. 黑河流域水资源使用权合理分配模式研究[D]. 江苏:淮海大学,2005.
- [20] 陈仁升,康尔泗,杨建平,等. 内陆河流域分布式水文模型——以黑河流域干流山区建模为例[J]. 中国沙漠,2004,24(4):416-424.
- [21] 贾仰文,王浩,严登华. 黑河流域水循环系统的分布式模拟(I)——模型开发与验证[J]. 水利学报,2006,37(5):534-542.
- [22] 贾仰文,王浩,严登华. 黑河流域水循环系统的分布式模拟(II)——模型应用[J]. 水利学报,2006,37(6):655-661.
- [23] 黄清华,张万昌. SWAT 分布式水文模型在黑河干流山区流域的改进集应用[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2004,28(2):22-26.
- [24] 李扬,秦大庸,于福亮,等. 黑河中游地区水资源优化配置模型研究[J]. 人民黄河,2008,30(8):72-74.
- [25] 李福生,侯红雨,谢越韬. 黑河中游地表水、地下水转化及水资源配置模型[J]. 人民黄河,2008,30(8):64-66.
- [26] 赵勇,裴源生,于福亮. 黑河流域水资源实时调度系统[J]. 水利学报,2006,37(1):82-89.
- [27] 裴源生,赵勇,王建华. 流域水资源实时调度研究——以黑河流域为例[J]. 水科学进展,2006,17(3):395-401.
- [28] 李新,程国栋,丁永建,等. 黑河流域水资源信息系统设计[J]. 中国沙漠,2000,20(4):378-382.
- [29] 李新,程国栋,吴立宗. 数字黑河的思考与实践 I:为流域科学服务的数字流域[J]. 地球科学进展,2010,25(3):297-305.
- [30] 盖迎春,李新. 黑河流域中游水资源管理决策支持系统设计及实现[J]. 冰川冻土,2011,33(1):190-196.