

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2012.06.005

基于水量配置模型的江苏省南水北调工程 受水区缺水量探讨

赵华清¹, 常本春², 杨树滩², 王腊春¹

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093; 2. 江苏省水利厅水资源服务中心, 江苏 南京 210029)

摘要: 选取南水北调东线江苏省受水区作为研究区域, 根据该区域下垫面具有多样性和降雨分布不均匀的特点, 采用水面、水田、旱地和城镇道路4种产流模式模拟研究区产流量; 概化受水区规划年(2020年)工业用水户23个; 农业用水户92个、生活用水户25个、生态用水户11个和船闸用水户23个; 建立研究区需水模型, 计算该区域在3种年型下的需水量; 初步进行供需水量平衡分析。结果表明: 2020规划年遇平水年缺水0.28亿m³; 遇一般干旱年缺水0.47亿m³; 遇特殊干旱年缺水20.58亿m³。

关键词: 南水北调工程; 用水户; 需水量; 缺水量; 江苏省

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6933(2012)06-0024-05

A preliminary discussion on water shortage in water-receiving areas in Jiangsu Province in South-to-North Water Diversion Project area based on water allocation model

ZHAO Hua-qing¹, CHANG Ben-chun², YANG Shu-tan², WANG La-chun¹

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Service Center of Water Resources, Jiangsu Water Resources Department, Nanjing 210029, China)

Abstract: The water-receiving areas in Jiangsu Province on the Eastern Route of the South-to-North Water Diversion Project were taken as the study region. In view of the diversity of the underlying surface of the study area and the uneven distribution of rainfall, we divided the study area into surface water, paddy fields, dry lands, and urban construction lands, and used different runoff-producing simulation models. In 2020, the planning year, water users of the water-receiving areas will be generalized as 23 industrial water users, 92 agricultural water users, 25 domestic water users, 11 ecological water users, and 23 lock water users. A water demand model was established to calculate the water demand of the study area in three different types of years. The balance between water supply and demand was preliminarily analyzed. The results show that there will hardly be any water shortage in 2020, if it is a normal year, and the water shortage will be 47 million m³ if the year is a dry year and 20.58 billion m³ if the year is an extremely dry year.

Key words: South-to-North Water Diversion Project; water users; water demand; water shortage; Jiangsu Province

选取南水北调东线工程江苏省受水区作为研究区域。受水区地处淮河及沂沭泗河流域下游, 地跨长江、淮河两大流域。为贯彻落实《中华人民共和国水法》“国家对用水实行总量控制和定额管理相

结合的制度”的要求, 需合理配置南水北调东线一期工程干线水资源, 形成干线受水区内各行政区之间、“三生”之间用水总量分配方案。南水北调工程是解决我国北方地区水资源短缺问题的重大水利基

基金项目: 国家自然科学基金(40730635)

作者简介: 赵华清(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水资源水环境。E-mail: huaqingzhao1103@sina.com

通信作者: 王腊春, 教授。E-mail: wang6312@263.net.cn

基础设施,但在用工程手段实现南北水资源优化配置的同时,更要重视体制和机制的创新,促进节水型社会的建设^[1]。所以研究江苏省南水北调受水区缺水模型,计算受水区缺水量,进行供需水量平衡分析,对以后江苏省合理便捷地制定南水北调工程调度方案及进行水量配置研究具有很好的实际意义。本文研究是在南水北调受水区河网概化已经完成的基础上结合江苏省南水北调水量配置模型的建立进行的。

1 研究区范围

研究范围为南水北调主体工程规划确定的江苏省受水区范围,包括淮安、宿迁、徐州、连云港等4市的所有辖区以及扬州市的江都、高邮、宝应县和盐城市阜宁县各一部分,基本以现状排灌体系和高程2.5 m 等高线以上综合确定,总面积约为4.31 万 km²。受水区划分采用江苏水资源评价分区体系,如表1 及图1 所示。

表1 江苏省水资源分区与受水区的关系

| 一级区 | 二级区 | 三级区 | 四级区 | 与受水区的关系 |
|-------------|-----------------------|-------------|------------|------------|
| 淮 河 区 | 王家坝 至中渡 | 蚌中区间 北岸区 | 安河区 | 全部位于受水区范围内 |
| | | 蚌中区间 南岸区 | 盱眙区 | 全部位于受水区范围内 |
| | 中渡 以下 | 高天区 | 高宝湖区 | 部分面积为受水区 |
| | | 里下河 腹部区 | 渠北区 | 部分面积为受水区 |
| | | 里下河 腹部区 | 里下河 腹部区 | 部分面积为受水区 |
| | | 里下河 腹部区 | 斗北区 | 不在受水区范围内 |
| | | 里下河 腹部区 | 斗南区 | 不在受水区范围内 |
| | | 湖西区 | 丰沛区 | 全部位于受水区范围内 |
| | 沂 沭 泗 河 区 | 中运河区 | 骆马湖 上游区 | 全部位于受水区范围内 |
| | | 日赣区 | 赣榆区 | 全部位于受水区范围内 |
| 沂沭河区 | | 沂南区 | 部分面积为受水区 | |
| 沂沭河区 | | 沂北区 | 全部位于受水区范围内 | |

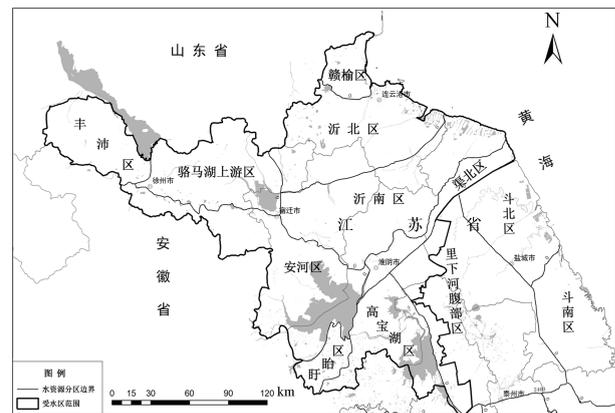


图1 江苏省水资源四级分区分布示意图

2 用水户概化

2.1 数量统计

按照农业、工业、生活、生态、船闸5 大类统计规划年(2020 年)的取水口和用水户。概化前,2020 规划年受水区输水干线共有用水户364 个,其中农业用水户106 个,工业用水户101 个,生活用水户73 个,生态环境用水户13 个,船闸用水户71 个;受水区规划年共有取水口912 个,其中农业取水口654 个,工业取水口101 个,生活取水口73 个,生态环境取水口13 个,船闸取水口71 个。

2.2 概化方法

针对干线上用水户和取水口较多的情况,且为了满足模型计算的需要,采用“打包法”合并河网概化节点间的5 类用水户,将其概化为一个用水户节点,用5 位二进制编码进行识别,如果概化的用水户节点上有5 类用水户之一,则将该类用水户对应的编码位置赋值为1,否则为0。若为1,则在用水户概化表中,找到该用水户,并把概化图中的该用水户首末节点注明到该用水户后面,以便模型程序读取时方便查找^[2]。

对于直接在干线上取水的,记为干线用水户,其需水记为干线需水;不在干线取水的,按农业、工业、生活、生态、船闸5 大类进行统计,将其概化到所在行政分区和水资源分区,记为面上用水户,其需水量记为面上需水量。为了方便后文需水量计算的需要,用水户概化的参数有用水户名称、年需水量、取水口门规模、取水河道的首末节点、所在水资源分区、所在行政区等。本文提到的取水干线是指概化的江苏省南水北调受水区河网主干线,靠近干线的用水户直接从干线取水,远离干线的用水户通过次级河道或者开挖河道等方式取水。林牧渔业与农业的关系较紧密,林牧渔业需水作为面上需水,最后与农业需水合在一起记为农业需水。

2.3 概化成果

按照概化原则概化后,规划年研究区共有取水口211 个,其中农业取水口111 个,工业取水口32 个,生活取水口34 个,生态环境取水口11 个,船闸取水口23 个;共有用水户174 个,其中农业用水户92 个,工业用水户23 个,生活用水户25 个,生态环境用水户11 个,船闸用水户23 个。

3 本地水资源量和供水量

3.1 本地产流量

水文模型只是对水文现象的一种简单概括,因此叫做水文模拟^[3]。考虑到农业的需水特性,根据

江苏现状实际灌溉保证率水平,分别选取 50% 保证率(平水年)、75% 保证率(一般干旱年)、95% 保证率(特殊干旱年)作为计算频率。根据 1956—2000 年 45a 长系列年降雨量资料,排频选择不同降雨保证率年型对应的年份为:1983 年($P=50%$);1968 年($P=75%$);1966 年($P=95%$)。

按产流特点将下垫面划分为城镇建设用地、水域、水田、旱地等类型,分别建立产流模型。研究区下垫面总面积约为 4.31 万 km^2 (包括水面面积)。各水资源分区的产流量及产流系数见表 2。本研究区主要为平原水网地区,水面、水田所占比重较大。研究区在汛期地下水埋深较浅,土壤含水量较高,且易得到补充,故采用单层蓄满产流计算;参照文献[4],本文水田产流计算时把渗漏量的 1/6 作为回归水量。

表 2 水资源分区的产流量及产流系数

| 水资源分区名称 | 面积/ km^2 | 1966 年型 ($P=95%$) | | 1968 年型 ($P=75%$) | | 1983 年型 ($P=50%$) | |
|---------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 产流系数 | 产流量/ 亿 m^3 | 产流系数 | 产流量/ 亿 m^3 | 产流系数 | 产流量/ 亿 m^3 |
| 里下河腹部区 | 5273.09 | 0.13 | 4.80 | 0.26 | 11.68 | 0.37 | 19.25 |
| 高宝湖区 | 4133.66 | 0.02 | 0.54 | 0.14 | 4.95 | 0.28 | 11.00 |
| 渠北区 | 1000.99 | 0.17 | 1.22 | 0.34 | 2.68 | 0.44 | 4.44 |
| 沂南区 | 6574.62 | 0.12 | 4.52 | 0.33 | 16.82 | 0.43 | 26.89 |
| 骆马湖上游区 | 5555.00 | 0.15 | 5.09 | 0.22 | 7.68 | 0.42 | 19.39 |
| 丰沛区 | 3393.99 | 0.18 | 3.41 | 0.09 | 1.46 | 0.22 | 4.15 |
| 安河区 | 7778.77 | -0.09 | -4.56 | 0.11 | 6.09 | 0.26 | 17.04 |
| 沂北区 | 6911.61 | 0.17 | 7.05 | 0.27 | 13.97 | 0.39 | 21.25 |
| 赣榆区 | 1407.99 | 0.08 | 0.60 | 0.25 | 2.51 | 0.27 | 2.61 |
| 盱眙区 | 1114.00 | 0.10 | 0.69 | 0.30 | 2.73 | 0.39 | 4.15 |
| 综合 | 43143.72 | 0.10 | 23.36 | 0.24 | 70.57 | 0.35 | 130.17 |

分析表 2,丰沛区 1968 年的径流系数比 1966 年的径流系数小,其主要原因为 1968 年丰沛区的年降雨量与年蒸发量之比较 1966 年小。根据文献[5],3 种年型下受水区产流量对比见表 3。本次产流量计算值有误差,但模拟结果在合理范围内。

表 3 3 种年型下受水区产流量对比

| 年型 | 计算值/ 亿 m^3 | 参考值/ 亿 m^3 | 相对误差/% |
|---------|---------------------|---------------------|--------|
| $P=95%$ | 23.36 | 23.93 | -2.44 |
| $P=75%$ | 70.57 | 59.92 | 15.09 |
| $P=50%$ | 130.17 | 102.14 | 21.53 |

3.2 上游来水量

根据淮河(包括沂沭泗)上中游 1956—2000 年入境水量系列资料分析,淮河上中游入洪泽湖和骆马湖水量之和多年平均为 254.90 亿 m^3 、 $P=75%$ 、 $P=95%$ 保证率下分别为 111.8 亿 m^3 、56.0 亿 m^3 。

3.3 南水北调东线工程供水量

参考相关资料,按照当地径流量、上游来水量、

工程规模和需水量进行调节计算,2020 规划水平年,南水北调东线一期工程多年平均调水量为 116.9 亿 m^3 ,一般干旱年份调水量为 126.8 亿 m^3 ,特殊干旱年份调水量为 143.8 亿 m^3 。最大年调水量约为 155.0 亿 m^3 ,最小年调水量约为 91.6 亿 m^3 。

南水北调东线一期工程多年平均调水量中,计划供应山东省 13.53 亿 m^3 、安徽省 3.51 亿 m^3 (不包括计算上游来水量中已经扣除的安徽省用水量),这部分供水的保证率几乎达 100%;供应江苏省为:多年平均 98.9 亿 m^3 ,一般干旱年 108.8 亿 m^3 ,特殊干旱年 125.8 亿 m^3 。

4 用水户需水计算模型

灌溉水利用系数取值范围为 0.571 ~ 0.690,用水户资料采用 2020 规划水平年的,面雨量和蒸发量根据逐日降雨和蒸发计算得到。

4.1 水稻灌溉

产流部分建立的水田产流模型是平原流域产汇流模型的一个重要组成部分,用以计算流域内水田部分的产水量,也应用于计算水稻田灌溉定额。对于确定流域水资源量、服务水资源配置和调度、指导农业生产及规划农田水利工程规模等有重要意义[6]。

文献[7]拟定各分区水稻的整个生长期分为秧田期、泡田期、生育期。由于秧田期的历时占水稻整个生长期历时的比例较小,且秧田期的灌水定额占整个生长期灌溉定额的比例很小,秧田期灌水量取生育期用水量的 1/10 ~ 1/12。旱育秧采用湿润灌溉方式,取值则更小,今后将全面推广,故本文分为泡田期和生育期两个时期对水稻灌水定额进行推算。

a. 水稻泡田期。水稻泡田定额根据土壤、地势和耕作深度相似田块上的实测资料确定,同时考虑地下水埋深的影响,再根据调查获得的各分区土壤结构加权计算确定泡田定额。

b. 水稻生育期。根据水稻各个生育期的适宜水深下限、最大耐淹水深、水稻田日渗透量以及当地的灌水经验,由生育期的水量平衡方程进行逐日计算得到生育期的灌溉制度,结合水稻田的产流过程,建立受水区水稻田灌溉需水模型。土壤水深达到水稻耐淹水深时开始产流;土壤水深开始低于水稻适宜水深下限时开始灌溉,灌溉至水稻适宜水深。

水田产流过程 R 的推求过程为:

$$H_2 = H_1 + P - \alpha\beta E - f$$

$$R = \begin{cases} H_2 - H_p & H_2 > H_p \\ 0 & H_u < H_2 < H_p \\ 0 & H_d < H_2 < H_p \\ H_2 - H_d & H_2 > H_d \end{cases}$$

式中: R 为水稻田日产水量; mm ; H_1 为时段初水稻田水深, mm ; H_2 为时段末水稻田水深, mm ; α 为水稻各生长期的需水系数; β 为水面蒸发折算系数; f 为水稻田日渗透(漏)量, mm ; H_p 为各生长期水稻耐淹水深, mm ; H_u 为各生长期水稻适宜水深, mm ; H_d 为各生长期水稻适宜下限水深, mm ;

如果水稻田日产水量为负值,则代表需要灌溉;如果为正值,则代表水稻田产水,不需要灌溉^[8]。根据生育期的灌溉制度逐日推算在节水灌溉方式下的水稻灌溉净定额,分析获得各水资源分区3种年型下水稻毛灌溉定额,然后推导出水稻整个生长期的灌溉定额,如表4所示。

表4 水稻生长期总灌溉定额 m^3/hm^2

| 水资源分区名称 | $P=95\%$ | | $P=75\%$ | | $P=50\%$ | |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 净定额 | 毛定额 | 净定额 | 毛定额 | 净定额 | 毛定额 |
| 里下河腹部区 | 6538.20 | 9759.60 | 4238.40 | 6326.70 | 3773.55 | 5632.80 |
| 高宝湖区 | 6977.10 | 11838.90 | 4513.05 | 7657.80 | 3526.05 | 5983.05 |
| 渠北区 | 6763.50 | 11024.55 | 5259.15 | 8572.35 | 4216.80 | 6873.30 |
| 沂南区 | 6032.25 | 10144.50 | 4410.15 | 7416.75 | 4746.60 | 7982.55 |
| 骆马湖上游区 | 10089.00 | 15985.95 | 8354.70 | 13237.95 | 8531.25 | 13517.70 |
| 丰沛区 | 9609.60 | 15042.75 | 8979.00 | 14055.75 | 8460.30 | 13243.50 |
| 安河区 | 9805.35 | 15380.40 | 8100.75 | 12706.50 | 7215.90 | 11318.40 |
| 沂北区 | 8688.45 | 14187.75 | 6786.30 | 11081.85 | 6779.70 | 11071.05 |
| 赣榆区 | 9211.95 | 14596.20 | 5768.25 | 9139.65 | 6177.30 | 9787.80 |
| 盱眙区 | 7258.80 | 11935.20 | 4537.80 | 7461.30 | 4765.65 | 7836.00 |

4.2 旱地灌溉

研究区目前主要种植小麦、玉米、棉花、油料、蔬菜等旱作物。笔者把小麦、玉米、棉花、油料4种旱作物灌溉需水量记为水浇地灌溉需水量;蔬菜灌溉需水量记为菜地灌溉需水量。

4.3 需水量计算

干线需水量包括部分农业需水量、工业需水量、生活需水量、生态需水量和船闸需水量。模型计算干线上农业需水量包括水稻灌溉需水量和旱地灌溉需水量(水浇地和菜地灌溉需水量),结果见表5。

表5 水稻生长期和旱地灌溉需水量

| 水资源分区名称 | $P=95\%$ | | | $P=75\%$ | | | $P=50\%$ | | |
|---------|----------|-------|-------|----------|------|-------|----------|------|-------|
| | 水稻 | 水浇地 | 菜地 | 水稻 | 水浇地 | 菜地 | 水稻 | 水浇地 | 菜地 |
| 里下河腹部区 | 16.35 | 0.39 | 0.56 | 10.6 | 0.18 | 0.41 | 9.44 | 0.01 | 0.37 |
| 高宝湖区 | 14.51 | 0.47 | 0.53 | 9.38 | 0.24 | 0.40 | 7.33 | 0.03 | 0.33 |
| 渠北区 | 5.66 | 0.07 | 0.07 | 4.4 | 0.04 | 0.05 | 3.53 | 0.01 | 0.04 |
| 沂南区 | 22.34 | 2.58 | 2.70 | 16.33 | 1.42 | 2.02 | 17.58 | 0.31 | 1.73 |
| 骆马湖上游区 | 21.15 | 1.86 | 4.01 | 17.52 | 1.13 | 3.57 | 17.89 | 0.44 | 3.28 |
| 丰沛区 | 7.37 | 1.39 | 2.21 | 6.89 | 0.85 | 1.97 | 6.49 | 0.33 | 1.81 |
| 安河区 | 24.88 | 2.75 | 2.12 | 20.56 | 1.6 | 1.60 | 18.31 | 0.52 | 1.40 |
| 沂北区 | 16.75 | 1.97 | 1.85 | 13.09 | 1.13 | 1.47 | 13.07 | 0.36 | 1.32 |
| 赣榆区 | 1.66 | 0.82 | 0.00 | 1.04 | 0.47 | 0.00 | 1.11 | 0.15 | 0.00 |
| 盱眙区 | 2.13 | 0.16 | 0.09 | 1.33 | 0.08 | 0.07 | 1.4 | 0.01 | 0.06 |
| 合计 | 132.82 | 12.47 | 14.13 | 101.14 | 7.14 | 11.57 | 96.15 | 2.17 | 10.34 |

采用定额法计算得:在干线取水的非农用水户总需水量为30.26亿 m^3 ,其中工业需水量为8.08亿 m^3 ,生活需水量为9.49亿 m^3 ,生态需水量(河道内生态需水量)为4.84亿 m^3 ,船闸需水量为7.85亿 m^3 。在此简要说明:河道内生态环境需水量指为维持生态与环境功能和进行生态环境建设所需的最小水量;河道外生态环境需水指保护、修复或建设给定区域的生态环境需要人为补充的水量。本文中干线上的生态需水量是指河道内生态需水量;面上的生态需水量是指河道外生态需水量^[9]。

同样采用定额法计算面上总需水量为45.84亿 m^3 ,其中包括林牧渔业需水量9.73亿 m^3 ,工业需水量25.15亿 m^3 ,生活需水量9.20亿 m^3 ,生态需水量(河道外生态需水量)1.76亿 m^3 。

4.4 供需平衡分析

3种年型下分行业统计需水量(包括干线需水量和面上需水量),结果见表6;把《江苏省需水量预测报告》中预测的2020规划年需水量作为参考值(表6),该报告中需水量不包括河道内生态需水量和船闸需水量。为了使本文的计算值与参考值具有可比性,把本文计算的总需水量减去部分生态需水量(即干线上生态需水量)和船闸需水量后再进行比较,则相对误差分别为-2.37% ($P=95\%$), 2.64% ($P=75\%$), 6.58% ($P=50\%$),对比结果见表7。本文计算值与参考值相比有一定误差,误差主要是由于参与计算的农业面积不完全相同等造成的。但误差最大仅为6.58%,说明本文建立的需水模型能较好的模拟研究区的需水量。

表6 年总需水量计算值与参考值 亿 m^3

| 需水类型 | $P=95\%$ | | $P=75\%$ | | $P=50\%$ | |
|------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | 计算值 | 参考值 | 计算值 | 参考值 | 计算值 | 参考值 |
| 农业 | 169.15 | 174.73 | 129.58 | 125.03 | 118.39 | 107.93 |
| 工业 | 33.23 | 33.75 | 33.23 | 33.75 | 33.23 | 33.75 |
| 生活 | 18.68 | 17.72 | 18.68 | 17.72 | 18.68 | 17.72 |
| 生态 | 6.60 | 2.03 | 6.60 | 2.03 | 6.60 | 2.03 |
| 船闸 | 7.85 | — | 7.85 | — | 7.85 | — |
| 合计 | 235.51 | 228.23 | 195.94 | 178.53 | 184.75 | 161.43 |

表7 年总需水量计算值与参考值对比

| 年型 | 参考值/亿 m ³ | 计算值/亿 m ³ | 相对误差/% |
|-------|----------------------|----------------------|--------|
| P=95% | 228.23 | 222.82 | -2.37 |
| P=75% | 178.53 | 183.25 | 2.64 |
| P=50% | 161.43 | 172.06 | 6.58 |

当前江苏农业水资源存在的主要问题包括资源型缺水、水质型缺水和季节性干旱3个方面^[10]。限于文章内容,本文只分析资源型缺水量。参考相关资料,经1956—2000年长系列供需平衡调节计算,南水北调东线一期工程实施后,2020规划水平年江苏省受水区缺水总量较现状有较大幅度下降,P=95%年型缺水率为8.74%,缺水量为20.58亿m³;P=75%年型缺水率为0.24%,缺水量为0.47亿m³;P=50%年型缺水率为0.15%,缺水量为0.28亿m³。可见南水北调东线一期工程实施后该区域水资源保障能力较强。

水资源利用率低、浪费严重是缺水原因之一,灌溉水源30%以上耗费在各级渠道上,建议加强渠道防渗化,提高输水的有效利用率^[11];部分地区缺水量较大是取水口门规模太小造成的,建议进行工程改造,加大取水口的规模或者数量;前期所概化的河道的河宽和河长等也可能会影响缺水量。

5 结语

本文以南水北调东线一期工程即将全线通水为契机,结合江苏省南水北调水量配置,建立江苏省南水北调受水区的产流模型和需水模型,计算3种年型下受水区的产流量和需水量,简要进行供需平衡分析。采用2020规划水平年的用水户数据,计算2020水平年受水区在P=50%、P=75%和P=95%3种年型下的缺水量分别为0.28亿m³、0.47亿m³

和20.58亿m³,相关部门可以参考受水区缺水量进行水资源调度。本文研究内容根据江苏省南水北调水量配置研究而来,有许多需要加深研究的地方。随着经济的发展等,受水区的下垫面情况会发生变化,比如路面的硬质化率增加等将影响产汇流过程的模拟;非农需水(如生活需水等)会随着季节的变化而发生变化,其需水过程是一个波动过程等问题,是需要进一步研究的地方。

参考文献:

- [1] 冯旭松. 南水北调工程与节水型社会建设[J]. 水利经济, 2008, 26(6): 13-16.
 - [2] 李增福. 江苏省南水北调受水区水文模型研究[D]. 南京: 南京大学, 2011.
 - [3] 赵人俊. 降雨径流流域模型简述[J]. 人民黄河, 1983(2): 40-43.
 - [4] 江苏省水文水资源勘测局. 江苏省水资源调查评价[R]. 南京: 江苏省水文水资源勘测局, 2006.
 - [5] 江苏省水利厅. 江苏省水资源综合规划[R]. 南京: 江苏省水利厅, 2002—2011.
 - [6] 江苏省水利厅. 江苏省农作物灌溉试验资料整编与分析[R]. 南京: 江苏省水利厅, 1991.
 - [7] 林刚毅, 罗上, 石亚东, 等. 基于土壤非饱和状态下对水稻田产流模型的改进及验证[J]. 节水灌溉, 2011(10): 33-41.
 - [8] 王船海, 王娟, 程文辉, 等. 平原区产汇流模拟[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(6): 627-632.
 - [9] 宋兰兰, 陆桂华. 生态环境需水研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(3): 57-61.
 - [10] 王绪奎, 赵勤瑞, 陈光亚. 江苏省节水农业发展的思路与对策[J]. 水资源保护, 2007, 23(2): 22-24.
 - [11] 吴玉柏, 常本春, 王亦斌. 江苏省农业节水问题研究[J]. 水资源保护, 2002(2): 53-70.
- (收稿日期: 2012-04-18 编辑: 徐娟)
-
- (上接第23页)
- [2] LOFTIS B, LABADIE J W, FONTANE D G. Optimal operation of a system of lakes for quality and quantity [C]//Computer Applications in Water Resources. New York: ASCW, 1989: 693-702.
 - [3] MEHREZ A, PERCIA C, ORON G. Optimal operation of a multi-resource and multi-quality regional water system [J]. Water Resources Research, 1992, 28(5): 1199-1206.
 - [4] CAI Xi-ming, MCKINNEY D C, LASDON L S. Integrated hydrologic-agronomic-economic model for river basin management [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2003, 129(1): 4-17.
 - [5] 徐贵泉, 宋德蕃, 黄土力, 等. 感潮河网水量水质模型及其数值模拟[J]. 应用基础与工程科学学报, 1996, 4(1): 94-105.
 - [6] 王好芳, 董增川. 基于量与质的多目标水资源配置模型[J]. 人民黄河, 2004, 26(6): 14-15.
 - [7] 吴泽宁, 索丽生, 曹茜. 基于生态经济学的区域水质水量统一优化配置模型[J]. 灌溉排水报, 2007, 26(2): 1-6.
 - [8] 付意成, 魏传江, 王瑞年, 等. 水量水质联合调控模型及其应用[J]. 水电能源科学, 2009, 27(2): 31-35.
 - [9] 游进军, 甘泓, 王浩, 等. 基于规则的水资源系统模拟[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1043-1056.
 - [10] 水利部水利水电规划设计总院. 全国水资源综合规划技术要求培训讲稿[EB/OL]. [2009-10-07]. <http://bbs.instrument.com.cn/shhtml/20091007/2144782/>.
- (收稿日期: 2011-09-26 编辑: 彭桃英)