

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.06.005

基于 WEAP 的叶尔羌河流域水资源优化配置研究

杨明智¹, 薛联青^{1,2}, 郑刚³, 廉娟³, 李杰友¹

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学文天学院, 安徽 马鞍山 243000; 3. 新疆塔里木河流域管理局, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 以叶尔羌河流域作为研究对象, 基于 WEAP, 建立叶尔羌河流域水资源优化配置模型, 以社会、经济、生态环境的协调发展为目标, 综合考虑扩大灌溉面积、建成山区水库、废弃部分平原水库、改变种植结构以及灌区节水、人口增长、生产发展速度等要素, 模拟分析工业低增长和强化节水、工业高增长和强化节水、工业低增长和适度节水以及工业高增长和适度节水 4 种方案在不同规划水平年、不同来水频率下的水资源配置结果, 采用综合效益满意度法确定了叶尔羌河流域的最优发展方案为工业高增长和强化节水方案, 为叶尔羌河流域水资源的可持续利用提供科学依据。

关键词: 水资源配置; 叶尔羌河流域; WEAP 模型; 三标度法; 最优方案
中图分类号: TV213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2013)06-0493-07

Optimized allocation of water resources in Yarkand River Basin based on WEAP model

YANG Mingzhi¹, XUE Lianqing^{1,2}, ZHENG Gang³, LIAN Juan³, LI Jieyou¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Wentian College, Hohai University, Ma' anshan 243000, China;
3. Xinjiang Tarim River Basin Management Bureau, Korla 841000, China)

Abstract: A model for optimized allocation of water resources in the Yarkand River Basin was established based on the WEAP (water evaluation and planning system) model. For coordinated development of the society, economy, and eco-environment, four schemes were designed for simulating the results of the allocation of water resources with different frequencies of runoff in different target years, with full consideration of the expansion of the irrigation area, the construction of mountain reservoirs, the abandoned part of plain reservoirs, the change in planting structure, water-saving programs in irrigation areas, population growth, and the development of production. These schemes consider four scenarios: slow growth of industry and enhancement of water saving, rapid growth of industry and enhancement of water saving, slow growth of industry and moderate water saving, and rapid growth of industry and moderate water saving. The overall satisfaction degree method was used to determine the optimum scheme, that is, the scheme of rapid growth of industry and enhancement of water saving, which provides a scientific basis for sustainable development of the water resources in the Yarkand River Basin.

Key words: water resources allocation; Yarkand River Basin; WEAP model; three-demarcation method; optimum scheme

叶尔羌河流域位于塔里木盆地的西南边缘, 74°28'E ~ 80°54'E, 34°50'N ~ 40°31'N 之间, 由叶尔羌河、提

孜那甫河等4条河流组成,流域地跨4个地州12个县市,总面积9.89万km²。境内有新疆最大、全国第4的大型灌区,灌溉面积5022.6km²。叶尔羌河流域深居内陆,降雨稀少,水资源量不足,加之径流耗散损失大、灌溉水利利用系数低、平原水库蒸发渗漏严重等原因,水资源供需矛盾尖锐,生态环境用水被严重挤占,生态环境日益恶化。为解决叶尔羌河流域水资源问题,国务院在2001年6月批准的《塔里木河流域近期综合治理规划》中提出了一系列针对性的工程措施,包括修建山区水库、节水灌溉、渠道防渗、部分平原水库废弃及向塔里木河下泄生态水量等,势必会改变各分区的水量分配情况。

在供需水动态变化过程中如何优化配置水资源是叶尔羌河流域经济社会发展亟待解决的问题。国外对水资源优化配置的研究始于20世纪60年代初,此后线性规划、动态规划^[1]、多目标规划^[2]和群决策^[3]等方法被广泛应用。国内关于水资源优化配置的研究始于20世纪80年代初,近30年来从宏观经济水资源优化配置模型^[4]迅速发展到了多层次、多地区、多目标的大规模水资源优化配置^[5-6]模型。

本文以WEAP(water evaluation and planning system)理论作为技术支持,结合研究区规划年的社会经济发展情况,建立以社会、经济、生态三者为目标的综合效益满意度最优的水资源优化配置模型,以叶尔羌河流域水资源规划中期水平年2020年和远期水平年2030年为优化配置水平年,对叶尔羌河流域进行水资源优化配置研究,以实现水资源优化调配,发挥叶尔羌河流域水资源的综合效能。

1 叶尔羌河流域水资源优化配置模型的建立

WEAP^[7-8]是在美国军工部水力工程中心资助下,英国Stockholm Environment Institute(SEI)开发的将供水项目置于需求端问题、在水质和生态系统保护背景下来考虑水资源开发的综合模型。

WEAP基于水量收支平衡基本原则,驱动基于节点-连接结构建立的质量平衡模型,以月作为时间步长计算系统中节点和连接的水和污染物的质平衡。每一个节点和连接都必须遵循质量平衡方程:

$$q_{入} = q_{出} + q_{损}$$

式中: $q_{入}$ 、 $q_{出}$ ——进入、流出节点或连接的总水量; $q_{损}$ ——节点或连接处的损失水量。

WEAP采用线性规划方法,通过求解由需求优先顺序、供给择优顺序、质量平衡等约束组成的联立方程进行分配计算;WEAP的目标是使所有需求点的满足度最大(需求被满足的百分比)。在没有足够水量满足优先顺序相同的所有需求时,WEAP试图以其需求的相同百分比满足所有需求。需求点的实际入流量为

$$Q_{入} = W_{需} \lambda$$

式中: $Q_{入}$ ——需求点的实际入流量; $W_{需}$ ——需求点的需水总量; λ ——需求点的满足度系数。

根据叶尔羌河流域水资源和社会经济的发展现状,将综合效益满意度作为目标函数。综合效益满意度由社会效益满意度、经济效益满意度和生态效益满意度3个子目标函数组成,WEAP是水资源优化配置模型的核心部分。水资源优化配置流程见图1。

1.1 模型概化

叶尔羌河流域可利用的水资源主要来自山区冰雪融水形成的河道来水和冲积平原的地下水补给。基于叶尔羌河流域内的水源条件和引用水关系^[9],结合行政分区,将流域划分为叶城、泽普、莎车、麦盖提、巴楚、岳普湖和前海7个子分区。考虑地表供水的实际情况,将部分区分开概化,最终概化有27个水库、57个需求点、7处地下水、4条河流、9条分流、1个河道流量要求和120条输送连接。流域水资源系统的WEAP概化图见图2。

1.2 目标函数建立

水资源优化配置要遵循可持续发展的原则,应用系统分析原理和最优化方法,解决区域内水资源在生活、生产、生态之间的最优分配,既要追求社会效益和经济效益,又要顾及生态效益^[10-11],使有限的水资源获得社会、经济、生态三者之间的综合效益最大化,因此,本

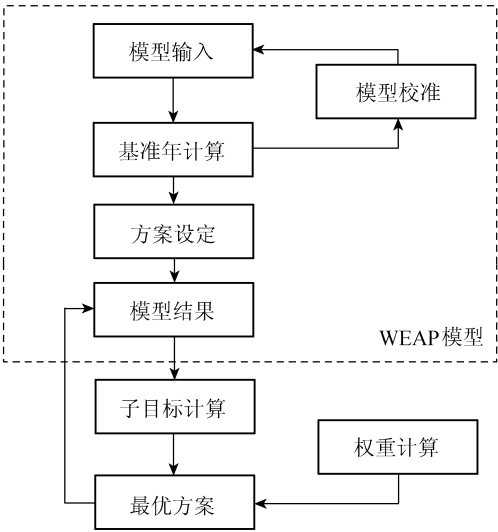


图1 水资源优化配置流程

Fig. 1 Flow chart of water resources optimal allocation

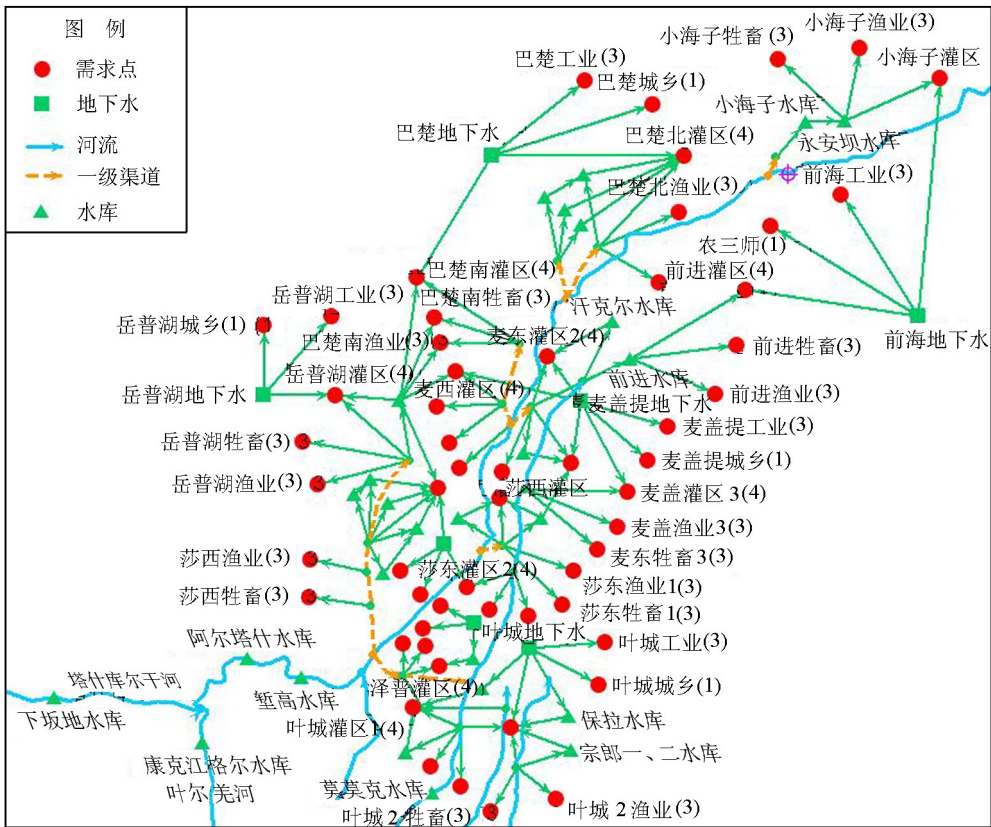


图 2 叶尔羌河流域 WEAP 结构

Fig. 2 Generalized map of WEAP model for Yarkand River Basin

文建立综合效益满意度评价方法,引入三标度法^[12]计算经济效益、社会效益和生态效益三方面的权重,将 3 个目标的满意度^[13]转化成单个目标的综合效益满意度:

$$P = \omega_1 P_1 + \omega_2 P_2 + \omega_3 P_3 \tag{3}$$

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1 \tag{4}$$

$$P_1 = P_{\max} \tag{5}$$

$$P_2 = \begin{cases} 1 & E(x) \geq E_x \\ \frac{E(x)}{E_x} & E(x) < E_x \end{cases} \tag{6}$$

$$P_3 = \begin{cases} 1 & C(x) \geq C_x \\ \frac{C(x)}{C_x} & C(x) < C_x \end{cases} \tag{7}$$

$$P_{\max} = \max \left[\frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J(k)} \left(\sum_{i=1}^{I(k)} x_{ijk} + \sum_{n=1}^N x_{nj k} \right)}{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J(k)} D_{kj}} \right] \tag{8}$$

$$E(x) = \max \left[\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J(k)} \left(\sum_{i=1}^{I(k)} x_{ijk} m_{ijk} + \sum_{n=1}^N x_{nj k} m_{nj k} \right) \right] \tag{9}$$

$$C(x) = \max(C_1 + C_2) \tag{10}$$

式中: P ——综合效益满意度, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ——社会效益、经济效益和生态效益的权重; P_1, P_2, P_3 ——社会效益、经济效益和生态效益满意度函数, $0 \leq P_i \leq 1, i = 1, 2, 3$; E_x, C_x ——流域国内生产总值(GDP)、生态用水量^[14]的期望值; $P_{\max}, E(x), C(x)$ ——社会目标函数、经济目标函数和生态目标函数; k ——分区数量; $J(k)$ ——第 k 分区的用水部门数量; $I(k)$ ——第 k 分区的独立水源数量; n ——公共水源数量; D_{kj} ——区域在 k 分区第 j 用水部门的需水量; x_{ijk} ——区域第 i 独立水源给第 k 分区第 j 用水部门的供水量; $x_{nj k}$ ——区域

第 n 公共水源给第 k 分区第 j 用水部门的供水量; m_{ijk} ——区域第 i 独立水源给第 k 分区第 j 用水部门的单方水万元产值; m_{nj} ——区域第 n 公共水源给第 k 分区第 j 用水部门的单方水万元产值; C_1 ——艾里克塔木渠首断面的下放生态水量; C_2 ——艾里克塔木渠首断面以上的河道沿岸生态用水量。

1.2.1 约束条件和优先顺序

约束条件有需水量约束、可供水量约束、各分区用水量约束、地下水开采量限制、水库库容限制、河道下放水量要求、渠道输水能力约束、供水优先顺序约束、需水优先顺序约束、非负约束等。遵循以人为本、民生优先的原则,优先保证居民生活用水,其次是生态用水,工业用水再次之,最后考虑农业用水。

1.2.2 计算时段和水文序列

以 2008 年为基准年,2020 年、2030 年分别为中期、远期水平年。选择叶尔羌河流域代表水文站——伊尔列黑、库鲁克干站(叶尔羌河)和玉孜门勒克站(提孜那甫河)1957—2009 年的长系列来水数据,分别选择 50%、75% 和 90% 来水频率对应的典型年份,以月作为模型计算时段。

1.3 数据输入

模型数据输入是指节点和连接有关参数的输入。节点包括各类需水点、地下水、水库及河道取水点等。需水点有关参数主要是用户数量、单位用水量和需水优先顺序等;地下水有关参数主要是最大取水量和补给水量;水库有关参数主要是初始库存、总库容、死库容和水库损失等;河流有关参数主要是源头月来水量和河道月损失。

1.4 发展方案

根据叶尔羌河流域水资源和社会经济状况,在节水和经济发展两方面制定发展方案。叶尔羌流域第一产业用水主要是灌溉用水,第二产业用水主要是工业用水。在节水方面设置强化节水、适度节水两种节水条件,主要包括生活节水和工业节水。生活上提高居民的节水意识,控制生活用水定额的增长速度。预计在强化节水条件下,到 2020 年,流域的城镇和农村生活用水定额分别从现状的 180 L/(人·d),70 L/(人·d) 增加到 200 L/(人·d),105 L/(人·d),到 2030 年分别增加到 210 L/(人·d),120 L/(人·d);适度节水条件下,到 2020 年,流域的城镇和农村生活用水定额分别增加到 205 L/(人·d),110 L/(人·d),到 2030 年分别增加到 2210 L/(人·d),130 L/(人·d)。工业上淘汰高耗水设备,提高工业用水重复利用率,减少工业用水定额。考虑到研究区内工业发展过程中受到基础设施水平、水资源承载力、生态环境等因素的影响,将工业发展设置低速增长、高速增长两种方案。现状年工业的万元产值需水定额为 200 m³,预计在强化节水情况下 2020 年、2030 年的工业用水定额分别为 90 m³/万元,50 m³/万元;在适度节水情况下 2020 年、2030 年分别为 110 m³/万元,60 m³/万元。依据规划水平年工业发展速度,结合节水水平,确定方案 1(工业低增长和强化节水)、方案 2(工业高增长和强化节水)、方案 3(工业低增长和适度节水)和方案 4(工业高增长和适度节水)4 种发展方案。

2 结果分析

2.1 WEAP 运算结果

参考《喀什地区国民经济和社会统计公报》和喀什市“十二五”规划的发展战略,综合考虑灌溉水利利用系数提高、节水灌溉面积扩大、山区水库建成和部分平原水库废弃等措施的实施^[15],针对以上 4 种方案,用 WEAP 对不同来水频率情况的各规划年各方案进行水资源调配计算,由于模型数据多及文章篇幅的限制,本文仅模拟 50% 来水频率下的结果,同时把模型中各分区的模拟结果合并。

2.1.1 社会效益满意度

现状年叶尔羌河流域缺水 12.55 亿 m³,缺水率为 17.6%。经模拟计算,2020 年 4 种方案的缺水率分别为 8.54%,8.90%,10.58%,10.83%;2030 年 4 种方案的缺水率分别为 5.20%,6.15%,7.25%,8.21%。高发展方案导致流域需水量增加,方案 2 的需水量在 2020 年、2030 年分别比方案 1 多 1312 万 m³,5656 万 m³;方案 4 的需水量在 2020 年、2030 年分别比方案 3 多 1604 万 m³,6787 万 m³。根据式(5),社会效益满意度等于流域供水满足度,社会效益满意度结果见表 1。

2.1.2 经济效益满意度

现状年,第一产业在各产业中所占的比例最高,占总 GDP 的 60% 以上。规划方案对产业结构进行调整,

表 1 各规划水平年各方案的社会效益满意度

Table 1 Social benefit satisfaction degrees of various schemes in different target years

方案	2020 年			2030 年		
	需水量/ 亿 m ³	供水量/ 亿 m ³	社会效益 满意度	需水量/ 亿 m ³	供水量/ 亿 m ³	社会效益 满意度
1	60.05	54.92	0.915	56.16	53.24	0.948
2	60.18	54.82	0.911	56.73	53.24	0.938
3	61.25	54.76	0.894	57.47	53.31	0.928
4	61.41	54.76	0.892	58.15	53.38	0.918

把更多的水资源应用在工业等高效益部门以提高经济效益。2020 年、2030 年的 GDP 期望值分别为 381 亿元,955 亿元,汇总各方案在各规划年各产业的产值,根据式(6)计算出各方案的经济效益满意度,见表 2。

表 2 各规划水平年各方案的经济效益满意度

Table 2 Economic benefit satisfaction degrees of various schemes in different target years

方案	2020 年					2030 年				
	第一产业 产值/亿元	第二产业 产值/亿元	第三产业 产值/亿元	GDP/ 亿元	经济效益 满意度	第一产业 产值/亿元	第二产业 产值/亿元	第三产业 产值/亿元	GDP/ 亿元	经济效益 满意度
1	99	152	106	357	0.936	152	453	205	810	0.848
2	98	160	113	371	0.975	150	584	211	946	0.990
3	97	150	102	348	0.915	149	442	203	794	0.832
4	96	157	109	362	0.951	147	570	208	925	0.969

2.1.3 生态效益满意度

本次计算的生态用水包括两部分,即卡群渠首至艾里克塔木渠首间的河段(含提孜那甫河江卡渠首至汗克尔渠首间的河段)两岸滩涂荒漠植被用水量及艾里克塔木渠首断面下放生态水量。河岸植被的生态用水主要来自河床渗漏补给,按照《塔里木河流域近期综合治理规划》的要求,50%来水频率下,叶尔羌河输入塔里木河水量不应少于 3.3 亿 m³,换算到艾里克塔木渠首断面为 8.26 亿 m³。2020 年、2030 年的流域生态用水期望值分别为 17.87 亿 m³,18.41 亿 m³,根据式(7)计算出各方案的生态效益满意度,见表 3。

表 3 各规划水平年各方案的生态效益满意度

Table 3 Ecological benefit satisfaction degrees of various schemes in different target years

方案	2020 年		2030 年	
	生态用水量/ 亿 m ³	生态效益 满意度	生态用水量/ 亿 m ³	生态效益 满意度
1	16.98	0.950	16.70	0.907
2	16.89	0.945	16.62	0.903
3	17.01	0.952	16.73	0.909
4	16.91	0.946	16.65	0.904

2.2 方案优选

针对多目标函数的优化,由于目标函数之间量纲不同,对于求最优解有很大的困难。本文采用最常用的加权法将多目标函数转化为单目标函数进行求解,选取三标度法来确定各子函数的权重。经计算求得社会、经济和生态效益满意度的权重分别为 0.540,0.297,0.163,将权重值和表 1、表 2、表 3 中的数据代入式(3),求得综合效益满意度结果见表 4。

对表 4 中不同方案的结果比较可以看出,不同规划水平年,方案 2 的总体满意度均大于其他 3 种方案,即研究区发展在工业高增长和强化节水方案下的综合效益最优。

2.3 水资源配置结果

利用 WEAP 对拟订方案(方案 2)对应的各规划水平年进行水资源配置。由于篇幅所限,仅列出 50% 来水频率下的 2030 年的配置结果,见表 5。通过实施方案 2 的生活、工业和农业节水等各种工程措施,尤其是灌溉节水、加强水利工程基础设施建设、提高灌溉水的

表 4 各规划水平年各方案的综合效益满意度

Table 4 Overall benefit satisfaction degrees of various schemes in different target years

方案	综合效益满意度	
	2020 年	2030 年
1	0.884	0.877
2	0.903	0.914
3	0.878	0.863
4	0.886	0.898

利用效率,总计至2030年灌溉节水量达到14.58亿m³。在50%来水频率下叶尔羌河流域2030年的缺水率由原来的17.6%降低到6.15%,有效地缓解了流域的水资源供需矛盾。

表5 叶尔羌河流域的2030年水资源配置计算结果

Table 5 Allocation of water resources in 2030 in Yarkand River Basin

分区	供水量/10 ⁶ m ³				需水量/10 ⁶ m ³						缺水率/ %
	蓄水	引提水	地下水	合计	生活	农业	牲畜	渔业	工业	合计	
叶城区	58.19	579.24	106.93	744.36	33.51	785.74	16.41	4.12	21.80	861.58	13.61
泽普区	8.52	384.80	55.86	449.18	15.35	452.32	5.63	2.11	44.60	520.01	13.62
莎车区	5.37	1327.44	288.80	1621.61	57.98	1519.75	16.64	53.81	46.25	1694.43	4.30
麦盖提区	3.05	579.76	113.01	695.82	18.74	673.33	8.64	0.51	11.42	712.64	2.36
岳普湖区	1.55	91.41	4.00	96.96	1.91	104.37	0.52	1.62	1.18	109.60	11.53
巴楚区	8.98	717.49	151.00	877.47	24.14	841.88	8.56	1.31	22.95	898.84	2.38
前海区	728.45	0	110.01	838.46	13.98	801.54	6.90	23.60	29.48	875.50	4.23
合 计	814.11	3680.13	829.62	5323.86	165.61	5178.93	63.34	87.10	177.68	5672.66	6.15

注:计算结果不包含流域生态用水量。

3 结 论

利用WEAP建立叶尔羌河流域水资源优化配置模型,以人-生态环境-社会-经济协调发展为目标,研究叶尔羌河流域节水与经济发展方案,对不同方案进行模拟,并采用多目标决策方法,对方案进行定量评价及优选。通过对推荐方案2的水资源配置计算结果可知,到2030年,流域的生产生活需水量由71.31亿m³减少到56.73亿m³,50%来水频率下的流域缺水量降低到6.15%。由此可见,通过方案2的实施,不仅达到了社会经济和生态环境的最高综合效益,而且极大地缓解了流域的缺水状况,从而实现人与自然和谐相处的可持续发展目的。同时还验证了WEAP能定量地预测不同发展方案下叶尔羌河流域水资源的分配情况和模拟方案对流域各分区带来的相应影响,为政府制定社会经济发展决策提供可靠依据。

参考文献:

[1] BURAS N. Scientific allocation of water resources; water resources development and utilization-a rational approach[M]. New York; Elsevier, 1972; 1-5.

[2] HAIMES Y Y, HAIL W A, FREDMAND H T. Multiobjective optimization in water resources systems; the surrogate worth trade of method[M]. New York; Elsevier, 1972; 3-8.

[3] PETER W F L, WILLIAM W G, YEH M, et al. Multi-objective water resources management planning[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 1984, 110(1): 39-56.

[4] 许新宜, 王浩, 甘泓, 等. 华北地区宏观经济水资源规划理论与方法[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997.

[5] 王劲峰, 刘昌明, 于静洁, 等. 区际调水时空优化配置理论模型探讨[J]. 水利学报, 2001, 32(4): 7-14. (WANG Jinfeng, LIU Changming, YU Jingjie, et al. Theoretical models for space and temporal distribution of water resources[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2001, 32(4): 7-14. (in Chinese))

[6] 王浩, 秦大庸. 黄淮海流域水资源合理配置[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[7] 胡立堂, 王忠静, WARDLAW R, 等. 改进的WEAP模型在水资源管理中的应用[J]. 水利学报, 2009, 40(2): 173-179. (HU Litang, WANG Zhongjing, WARDLAW R, et al. Application of improved WEAP model in water resources management[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(2): 173-179. (in Chinese))

[8] LÉVITE H, SALLY H, COUR J. Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa; application of the WEAP model[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2003, 28: 779-786.

[9] 赵晶, 乔玲, 李振纲. 谈叶尔羌河流域可持续发展的途径与措施: 流域水资源合理配置[J]. 水利学报, 2005, 36(增刊1): 39-42. (ZHAO Jing, QIAO Ling, LI Zhengang. Sustainable development ways and means on water resources of the Yarkand River Basin; rational water resources allocation in the river basin[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(Sup1): 39-42. (in Chinese))

[10] 耿福明, 薛联青, 吴义锋. 基于净效益最大化的区域水资源优化配置[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(2): 149-152. (GENG Fuming, XUE Lianqing, WU Yifeng. Optimal allocation of regional water resources based on maximization of net benefit[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2007, 35(2): 149-152. (in Chinese))

[11] 邵东国, 贺新春, 黄显峰, 等. 基于净效益最大的水资源优化配置模型与方法[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1050-1056.

(SHAO Dongguo,HE Xinchun,HUANG Xianfeng,et al. Optimal water resources deployment based on maximal net benefit[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2005,36(9):1050-1056. (in Chinese))

[12] 沈晓娟,徐向阳,刘翔. 三标度法在水资源配置方案优选上的应用[J]. 水电能源科学,2006,24(4):16-18. (SHEN Xiaojuan,XU Xiangyang,LIU Xiang. Application of three-demarcation method in optimal choice of water resources allocation scheme[J]. Water Resources and Power,2006,24(4):16-18. (in Chinese))

[13] 刘长顺. 流域水资源合理配置与管理研究[D]. 北京:北京师范大学,2004.

[14] 叶睿,尚松浩,陈根发,等. 内陆干旱区河谷林生态需水研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2011,4(9):298-303. (YE Rui,SHANG Songhao,CHEN Genfa,et al. Application of three-demarcation method in optimal choice of water resources allocation scheme[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research,2011,4(9):298-303. (in Chinese))

[15] 新疆维吾尔自治区水利厅水利水电勘测设计研究院. 新疆叶尔羌河流域规划报告[R]. 乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区水利厅水利水电勘测设计研究院,2007.

.....

· 简讯 ·

河海大学获 10 项 2013 年大禹水利科技奖

2013 年大禹水利科学技术奖(即原水利部科技进步奖)获奖项目近日揭晓,共评出获奖成果 49 项;其中特等奖 1 项,一等奖 9 项,二等奖 17 项,三等奖 22 项;河海大学有 10 项成果获奖,其中特等奖 1 项,一等奖 1 项,二等奖 5 项,三等奖 3 项。

河海大学获得的 10 项奖分别是:朱岳明教授为主要完成人的“强涌潮河口曹娥江大闸蟹工程建设关键技术研究与实践”获特等奖;余钟波教授主持的“水文全要素实验与模拟预测理论及应用”获一等奖;郑源教授主持的“低扬程低水头水力机械节能关键技术研究与应用”,蒋亚清教授主持的“特种高性能外加剂研究与应用”,钟平安教授为主要完成人的“淮河洪水多元协同调控技术与实践”,胡凤彬教授为主要完成人的“长江入海控制站水沙通量实时监测关键技术研究”,郝振纯教授等为主要完成人的“土壤大孔隙流机理及产汇流模型研究”获二等奖;郑金海教授主持的“闽江口潮流泥沙运动特性与船坞码头优化布置研究”,束龙仓教授为主要完成人的“淮河流域地下水安全开采及控制技术综合研究与应用”,许峰教授为主要完成人的“江苏省防汛防旱监测预警系统”获三等奖。

(本刊编辑部供稿)