

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2012.05.003

基于可控蒸散发的狭义水资源配置

张守平^{1,2}, 蒲 强³, 李丽琴^{1,2}, 廖苏珊⁴

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;
3. 新疆维吾尔自治区水文水资源局, 新疆 乌鲁木齐 830000; 4. 重庆市江津中学, 重庆 402260)

摘要:以流域“天然-人工”二元水循环模式和水资源优化配置模型为基础,构建针对区域目标蒸散发(ET)的狭义水资源评估模型。结合流域分区经济耗水和生态耗水计算方法,给出评估模型分析过程,提出基于可控 ET 的水资源可持续利用评价指标。以湟水干流为例,利用针对区域目标 ET 的狭义水资源评估模型,阐述当地近 5 a 水资源开发利用过程中存在的问题,为社会经济发展规划和水资源配置格局提供建议。实例应用表明,基于区域目标 ET 的狭义水资源评估模型,可为流域分区的水资源配置和管理提供依据。

关键词:二元水循环;狭义水资源评估模型;蒸散发;湟水干流

中图分类号:TV21 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2012)05-0013-06

Special water resources allocation based on controllable ET

ZHANG Shou-ping^{1,2}, PU Qiang³, LI Li-qin^{1,2}, LIAO Su-shan⁴

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;
2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, Beijing 100038, China;
3. Xinjiang Hydrology and Water Resources Bureau, Urumqi 830000, China;
4. Chongqing Jiangjin Middle School, Chongqing 402260, China)

Abstract: A special water resources assessment model for a regional target ET was built based on the natural-artificial dualistic water cycle model and water resources optimal allocation model. Considering the economic water consumption and ecological water consumption calculation methods, the analysis process of the assessment model is given, and the evaluation indices for sustainable utilization of water resources based on controllable ET are proposed. The model was applied to the main stream of the Huangshui River. This paper describes the problems of water resources utilization in the last five years and provides advice for socio-economic development planning and water resources allocation. The application shows that the special water resources assessment model for the regional target ET can provide a foundation for the water resources allocation and management in basins.

Key words: dualistic water cycle; special water resources assessment model; ET; main stream of Huangshui River

自从人类诞生,人类活动就对水循环及其规律产生影响,只是不同时间的规模和程度不同。当人类活动规模较小时,对水资源系统的影响较小,表现为水利工程较少,水资源开发利用程度低和水资源时空演变改变较小等。随着社会经济系统的不断膨胀,人类活动深刻影响着水资源系统,进而改变了水资源循环演变规律。基于此,王浩等^[1]于“九五”国家重点科技攻关项目“西北地区水资源合理开发利

用与生态环境保护研究”中提出了显示考虑人类活动影响的流域水资源演变的“天然-人工”二元驱动模式理论。2006 年贾仰文等^[2]提出了基于分布式水文模型、水资源配置模型和多目标决策模型耦合的二元模型,并以海河流域为例进行分析计算和模型验证。魏传江等^[3-5]在水资源二元循环模式的基础上进行耗水平衡研究,分析了人工侧支循环的经济耗水和天然生态用水的相互关系,并进行了东北

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07208-010);水利部公益性行业专项(2011010134)
作者简介:张守平(1984—),男,硕士研究生,研究方向为水资源配置。E-mail:zsp19840625@163.com

地区的水资源可持续利用评价,指导着规划水平年的水资源配置格局。但是传统的水资源配置虽进行了流域分区耗水平衡分析,却未对耗水总量进行控制。通过节水减少需水并不完全等于减少耗水,节水技术的发展虽然促使水资源需求量减少,流域的耗水量却不断增加,导致河道径流减少甚至断流、地下水水位下降等一系列问题。

2001—2005 年的世行农业节水灌溉项目首次提出了蒸散发 (evapotranspiration, ET) 管理的理念^[6-7]。王树谦等^[8]对利用蒸腾蒸发管理技术实现真实节水进行了研究,并对综合 ET 的计算和区域目标 ET 的确定进行了积极探索。2008 年,秦大庸等^[9]在“真实节水”理念基础上提出了区域目标 ET 的理论和计算方法,刘家宏等^[10]运用该理论方法计算了海河流域的目标 ET,突破了利用国民经济结构和发展速度进行需水预测的传统做法,从水循环层面进行了流域耗水计算。但是该方法对资料的翔实程度要求较高,特别是对蒸散发的遥感数据要求较高,同时还涉及遥感数据的代表性问题,并且该方法计算的目标 ET 仅通过了广义水资源配置的检验,还需要通过狭义水资源配置模型的水量平衡分析计算才能满足实际应用需求。

因此,本研究基于二元水循环模式,运用水资源优化配置模型建立区域目标 ET 的狭义水资源评估模型,探求一种在小尺度、宏观数据不足情况下的流域水量平衡分析方法,以实现流域可控 ET 总量控制基础上的经济耗水和生态用水的合理分配,为未来社会经济发展和水资源配置格局提出建议,实现水资源的可持续开发利用。

1 基本原理

我国目前水资源评价对象主要是径流性水资源,即狭义水资源^[5]。狭义水资源直接进入河道或补给地下水。狭义水资源包括产生地表径流和地下径流的降水。笔者以流域“天然-人工”二元水循环模式为基础,运用水资源优化配置模型构建狭义水资源评估模型。以区域目标 ET 为耗水总量控制指标,进行流域水量平衡分析,识别水资源开发利用中存在的问题,为社会经济发展规划和水资源配置格局提供参考依据。具体研究思路见图 1。

1.1 基本假定

计算分区的地下水为线性水库,通过侧向渗漏相互交换水量;流域分区闭合,地下水没有直接的水量交换,分区之间地下水交换以地下水转化为地表水的方式通过流域分区控制断面进行。

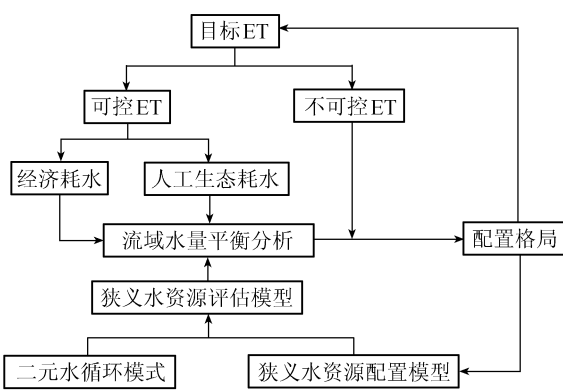


图 1 研究思路

1.2 狭义水资源评估模型

狭义水资源配置包括以计算分区为核心的供需平衡分析和以流域分区为核心的耗水平衡分析,所以狭义水资源评估模型包括供需平衡系统和流域平衡系统两大部分。供需平衡系统论述文献较多,不作详述。笔者着重根据二元水循环模式建立流域平衡系统,具体包括社会水循环系统、地表水系统、地下水系统和流域分区平衡系统。

受自然和人工驱动的流域自然水循环可用式 (1)^[11]概括

$$R + W_c + V_{de} + D_{in} - D_{ou} = f(P, E) + W_{in} \quad (1)$$

式中: R 为流域出口年径流量; W_c 为流域分区内的年人工耗水量; V_{de} 为流域内水资源蓄变总量,包括地表水蓄变量 W_{sde} 和地下水蓄变量 W_{gde} ; D_{in} 为外流域调入水量; D_{ou} 为调出水量; $f(P, E)$ 为下垫面条件受人类活动影响下的降水蒸发径流函数关系; W_{in} 为年入境水量。

根据基本假定,流域出口断面径流量为地表水出境水量和地下水侧向排出量之和。

社会水循环^[11]可概括为

$$W_d = W_c + W_r \quad (2)$$

式中: W_d 为流域分区内引水量,包括地表水引水量和地下水开采量; W_r 为水资源开发利用以后的回归入自然水循环系统水量。

流域“天然-人工”二元水循环模式如图 2 所示。

1.2.1 自然水循环系统

流域范围内的狭义水资源总量 W_{bf} 包括地表水资源量 S_{wbf} 和扣除与地表水重复量的地下水资源量 G_{wbf} , 由降水、蒸发和流域下垫面条件控制,由式(3)表示。

$$f(P, E) = W_{bf} = S_{wbf} + G_{wbf} \quad (3)$$

a. 地表水系统。地表水的汇入项包括当地地表产水量、上游入境水量、调入水量、地下水补给地表水量和社会水循环系统的地表退水量,排出项包括地表水引水量、地表水生态耗水量、地表水补给地

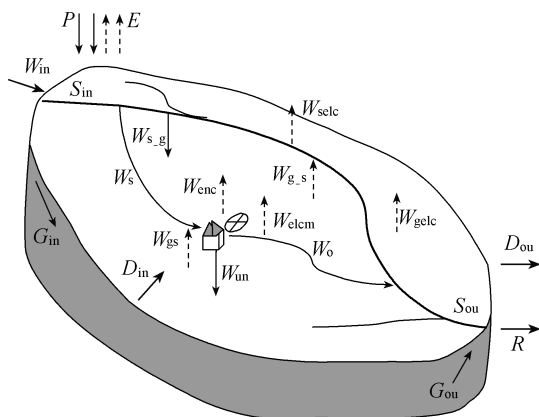


图2 流域“天然-人工”二元水循环模式示意图

下水量、出境水量和调出水量等,计算公式为

$$W_{\text{sde}} = D_{\text{in}} + S_{\text{in}} - W_{\text{s}} + W_{\text{o}} + S_{\text{wbf}} - W_{\text{selc}} + W_{\text{s, g}} - W_{\text{s, g}} - S_{\text{ou}} - D_{\text{ou}} \quad (4)$$

b. 地下水系统。地下水的汇入项包括侧渗补给量、当地降雨补给量(当地地下水产水量)、水资源开发利用过程中渗入地下水量、地表水下渗补给量,排出项包括地下水开采量、地下水的生态耗水量(潜水蒸发量)、地下水补给地表水量和侧向排出量等,如式(5)所示。

$$W_{\text{gde}} = G_{\text{in}} - W_{\text{gs}} + G_{\text{wbf}} + W_{\text{un}} - W_{\text{gelc}} + W_{\text{sg}} - W_{\text{gs}} - G_{\text{ou}} \quad (5)$$

1.2.2 社会水循环系统

社会水循环是在自然水循环的大框架之下形成和发展的取水、供用水、耗水和排水的循环路径,从循环路径和循环特性明显地改变了天然水循环特性。从水量平衡的角度,社会水循环过程中的耗水量 W_{e} 包括经济耗水量 W_{enc} (供水渠道、生活和生产过程中耗水量) 和人类用水过程中的生态耗水量 W_{elem} (人工生态和排水的生态服务功能等)。社会水循环系统向自然水循环系统排水量 W_{r} 包括通过排水渠道进入河道量 W_{r} 和水资源下渗进入地下水系统量 W_{rm} , 则社会水循环水量平衡如式(6)所示。

$$W_r = W_s + W_{gs} - W_{enc} - W_{elcm} \quad (6)$$

1.2.3 流域分区系统

根据上述分析,流域分区的水量平衡可概括为当地产水量、上游入境水量、调入水量、耗水量、调出量和流域出境水量之间的动态平衡,如式(7)所示。

$$V_{\text{de}} = W_{\text{bf}} + W_{\text{in}} + D_{\text{in}} - W_{\text{enc}} - W_{\text{elc}} - R - D_{\text{ou}} \quad (7)$$

其中 $W_{\text{elc}} = W_{\text{elcm}} + W_{\text{selc}} + W_{\text{selec}}$ (8)

式中, W_{elc} 为生态耗水总量, 生态包括人工生态和天然生态。

1.3 计算方法

在进行流域范围内的水量平衡分析时,经济耗水量和生态耗水量的计算准确程度决定了评估模型的分析精度。随着遥感技术的发展,不同尺度的多源遥感信息从植被、粗糙度和地形等角度提供地表信息,并基于能量平衡原理进行流域蒸散发的计算,结合流域的降雨径流等观测数据进行流域水平衡分析^[12]。但是在无遥感数据等资料的地区,流域水资源平衡分析还比较困难。

狭义水资源评估模型以狭义水资源为模拟配置对象。对用于天然生态、蒸发而未产生径流的降水作为区域不可控 ET 进行分析。农业需水为扣除了有效降水部分后的补充灌溉需水。经济耗水包括生活、工业及第三产业、农业的耗水, 以及它们各自的供水系统产生的蒸发损失; 生态耗水包括城镇农村生态、湖泊湿地消耗补水、河道内蒸发等。

1.3.1 经济耗水估算

经济耗水量 W_{enc} 包括城镇生活耗水量 C_c 、农村生活耗水量 R_c 、工业耗水量 I_c 和农业耗水量 A_c , 其中农业耗水由地表水渠系蒸发、田间耗水、地下水耗水构成, 计算公式为

$$W_{eng} = C_e + R_e + I_e + A_e \quad (9)$$

其中 $C_c = (1 - D_c)U_c + E_c$ (10)

$$R_c = (1 - D_r) U_r \quad (11)$$

$$I_c = (1 - D_i) U_i + E_i \quad (12)$$

$$A_c = (1 - r)U_g K_g + U_g r - G_g + Q_g - G_r \quad (13)$$

式中: D_c 为城镇生活污水排放率; U_c 为城镇生活用水量; E_c 为城镇生活供水渠系蒸发量; D_r 为农村生活污水排放率; U_r 为农村生活用水量,农村生活用水比较分散且排放的污水绝大部分蒸发消耗掉,用水量与耗水量基本相等; D_i 为工业污水排放率; U_i 为工业用水量; E_i 为工业供水渠系蒸发量; r 为灌溉水利用系数; U_a 为农业地表水毛供水量; K_a 为渠系损失水量蒸发比例系数; G_a 为田间净用水量补给地下水量; Q_g 为地下水开采供给农业量; G 为井灌回归量。

1.3.2 生态耗水估算

生态耗水分为河道内生态耗水和河道外生态耗水。河道内生态耗水包括水库蒸发、河道蒸发、湖泊蒸发、湿地蒸发;河道外生态耗水包括排水蒸发、城镇生态耗水、地下水潜水蒸发等。其中城镇生态需水量一般较小,且补充地下水量较小,认为全部消耗,计算公式为

$$W_{\text{selc}} = R_{\text{esc}} + L_{\text{ake}} + R_{\text{ive}} \quad (14)$$

$$E_{\text{coo}} = W_{\text{elcm}} + W_{\text{gele}} \quad (15)$$

$$W_{\text{elcm}} = D_{\text{rc}} + C_{\text{ec}} \quad (16)$$

$$W_{\text{elc}} = W_{\text{sele}} + E_{\text{coo}} \quad (17)$$

式中: W_{sele} 为河道内生态耗水量; R_{esc} 为水库蒸发量; L_{ake} 为湖泊或湿地耗水量; R_{ive} 为河道蒸发量; E_{coo} 为河道外生态耗水量; D_{rc} 为排水蒸发量; C_{ec} 为城镇生态耗水量。

1.3.3 分析过程

1.3.3.1 各计算分区各用户供需平衡分析

根据流域分区内近 5 ~ 10 a 的供用水数据进行各计算分区的供需平衡分析。地表水和地下水供水量参照各计算分区近 5 ~ 10 a 的开采量, 分析确定各计算分区缺水量。在不发生地下水位持续下降的计算分区, 地下水是采补平衡的, 通过调整降水入渗参数、潜水蒸发系数等相关参数使地下水系统达到平衡。在发生地下水位持续下降的计算分区, 应综合确定各相关参数, 使模拟地下水位与观测值相符。

1.3.3.2 流域分区水量平衡分析

根据水资源开发利用评价的供用耗排等成果确定各水资源分区生活耗水率、工业及三产耗水率、农业耗水率和经济耗水率, 调整相关参数计算各水资源分区各行业耗水率与评价值相符, 得到经济耗水量。根据湖泊湿地统计数据、补水来源变化等, 确定近几年的湖泊耗水量。

由于社会经济的发展, 社会经济耗水量不断增加, 河道的下泄流量越来越小, 特别是 1978 年以来, 社会经济活动对河道径流量的影响不断加大。所以以近 5 ~ 10 a 的水文测站的实测径流和天然径流量为依据, 在社会经济耗水量计算成果基础上计算流域分区内的生态耗水量, 进而确定流域主要控制断面的下泄水量。

在不发生区域性地下水位持续下降的地区, 水资源分区的多年平均蓄水变量趋于零。由于不确定因素和各种误差, 应将蓄水变量控制在一定的均衡差内; 若不满足, 则进行调整。在地下水超采区域, 应综合确定流域分区内的蓄水变量。

1.3.4 水资源配置误差控制

水资源配置涉及降水产流、蒸发消耗、水土保持、水资源开发利用、工农业生产和城市化等一系列复杂因素。水资源配置模拟计算时, 各因素之间相互影响, 只要一个影响因素没有考虑好都会对水资源配置结果产生影响。而对具有上下游传输关系的流域分区之间, 各种误差会通过流量传输从上游地区向下游地区逐渐累积, 从而对水资源配置格局产生重大影响。狭义水资源评估模型运用流域分区的水量平衡关系, 以流域控制断面或径流实测数据为

主要控制依据, 控制各种误差从上游地区向下游地区逐渐累积, 使水资源配置模拟计算尽量反映流域水资源实际情况, 进行水资源的合理配置。

1.4 水资源可持续利用评价

区域目标 ET 是指在一个特定发展阶段的流域或区域内, 以其水资源条件为基础, 以生态环境良性循环为约束, 满足经济持续向好发展与和谐社会建设要求的可消耗水量^[9]。区域目标 ET 按照人类活动和天然消耗的属性可分为人类可控目标 ET 和不可控目标 ET。其中人类可控目标 ET 包括灌溉耕地 ET、城市生活 ET、农村生活 ET、工业 ET、第三产业 ET 和人工生态 ET 等。利用水资源优化配置模型建立区域目标 ET 的狭义水资源评估模型, 进行配置方案的可控目标 ET 计算, 计算公式如下:

$$ET_{\text{kk}} = W_{\text{c}} = W_{\text{enc}} + W_{\text{elcm}} \quad (18)$$

式中, ET_{kk} 为流域或区域可控 ET。

对于任何一个流域水资源分区, 基于区域可控 ET 的经济耗水率和生态用水率的计算公式为^[5]

$$E_{\text{cw}} = W_{\text{enc}} / (W_{\text{bf}} + W_{\text{in}} + D_{\text{in}} - D_{\text{ou}}) \quad (19)$$

$$E_{\text{lw}} = 1 - E_{\text{cw}} \quad (20)$$

式中: E_{cw} 为经济耗水率; E_{lw} 为生态用水比例。

以基于区域可控 ET 的经济耗水率和生态用水率作为当地水资源开发利用的可持续性评价指标, 以实现在流域耗水总量控制的情况下, 合理分配经济耗水量和生态用水比例, 既保证全流域水资源不发生严重亏缺(河道不断流、地下水位不持续下降), 又保证社会经济发展对水资源的合理需求, 最终实现可持续发展。

2 实例应用

2.1 研究区概况

湟水干流是黄河的一级支流, 青海省政治、经济和文化为中心, 分别隶属于青海省和甘肃省部分地区。湟水干流峡盆相间, 顺流而下有海晏盆地、湟源盆地、西宁盆地、平安盆地、乐都盆地、民和盆地等 6 大河谷盆地, 地貌上形成的峡谷段把河谷潜水分成相对独立的赋存单元为水资源计算区, 区与区潜水平水力联系。河谷潜水与地表水转化频繁, 互相补充。依据地形和水资源赋存条件, 将湟水干流从上而下分为北川河区、源头区、中游区和下游区。

湟水干流地表水资源量为 21.61 亿 m^3 , 扣除重复量的地下水资源量为 1.28 亿 m^3 。2009 年湟水干流总人口 321.11 万, 其中城镇人口 141.19 万; 总 GDP 增加值为 617.98 亿元, 其中农业增加值为 377.95 亿元, 工业增加值为 243.86 亿元, 建筑业增加值为 50.47 亿元, 第三产业增加值为 285.85 亿元; 耕

地总面积为 28.13 万 hm²,农田有效灌溉面积为 9.58 万 hm²,农田实灌面积为 6.98 万 hm²,林牧渔用水面积 1.09 万 hm²;大牲畜 57.17 万头,小牲畜 251.26 万只。全区 2009 年总用水量为 11.33 亿 m³,其中生活用水 0.98 亿 m³,工业及第三产业用水量为 2.04 亿 m³,农业用水为 8.16 亿 m³,人工生态用水为 0.13 亿 m³,农业为用水大户,占总用水量的 72.0%。全区地表水供水 8.42 亿 m³,地下水供水 2.86 亿 m³,其他类型供水 0.04 亿 m³。

2.2 湟水干流水量平衡分析

在供需平衡分析基础上,运用上述的经济耗水、生态耗水计算方法和基于可控 ET 的水资源可持续利用评价指标,分析湟水干流近 5 a 水资源开发利用过程中出现的问题。该方法在传统水资源配置、水量平衡分析的基础上进行了流域耗水总量控制分析;在可控 ET 总量控制的基础上分析了经济耗水和生态环境用水比例,为规划水平年的水资源配置格局提供支持。

2.2.1 社会经济耗水分析

在水资源开发利用评价的基础上,运用目标 ET 的狭义水资源评估模型进行研究区域内现状年各计算分区的供用耗排分析,计算出湟水干流各区社会经济耗水情况(表 1)。

由表 1 分析可知,农业是用水和耗水大户,用水量和耗水量分别占全流域的 58.8% 和 66.9%,工业用水量和耗水量分别占全流域的 31.4% 和 24.6%,生活用水比例相对较小,耗水量也较小。因为中下游区位于低海拔地区,蒸发强度较源头区和北川河区大,中、下游区的农业耗水率较大。源头区的工业节水水平相对较高,工业耗水率也相对较大。由于源头区包括西宁市,城镇化率较高,而北川河区、中游区和下游区的农村生活用水量所占比例较大,源头区的生活耗水率最小,中游区和下游区生活耗水率相对较大。

2.2.2 流域水量平衡分析

在社会经济耗水计算的基础上,以流域内水文站近 5~10 a 的实测径流资料为依据,计算河道内和河道外生态耗水量,综合确定湟水干流各水资源分区水量平衡结果(表 2)。

表 1 湟水干流各区社会经济耗水分析

分 区	生活			工业			农业			综合		
	用水量/ 10 ⁶ m ³	耗水量/ 10 ⁶ m ³	耗水率	用水量/ 10 ⁶ m ³	耗水量/ 10 ⁶ m ³	耗水率	用水量/ 10 ⁶ m ³	耗水量/ 10 ⁶ m ³	耗水率	用水量/ 10 ⁶ m ³	耗水量/ 10 ⁶ m ³	耗水率
源 头	64	24	0.38	172	85	0.49	178	119	0.67	414	228	0.55
北川河	17	11	0.65	129	59	0.46	134	89	0.67	279	160	0.57
中 游	25	19	0.73	46	16	0.35	284	192	0.68	356	226	0.64
下 游	5	4	0.72	9	4	0.42	69	46	0.67	83	54	0.64
全流域	111	57	0.52	356	164	0.46	665	447	0.67	1132	668	0.59

分区	产水量	入境水量	调入水量	出境水量	调出水量	经济耗水量	生态耗水量	蓄水变量
源 头	700.5	486.9	17.0	857.2	0	228.0	119.8	-0.6
北川河	683.7	0	0	486.9	17.2	160.0	25.4	-5.8
中 游	785.1	857.2	0.2	1361.5	0	226.3	80.9	-27.2
下 游	118.8	1361.5	0	1441.8	0	53.6	24.0	-3.2

源头区和北川河区的地下水位比较稳定,所以地表水蓄变量分别为-60 万 m³ 和-580 万 m³,地表水体水量减少。中游区和下游区存在着地下水超采,地下水位下降,超采量分别为 3000 万 m³ 和400 万 m³,地表水蓄变量分别为 380 万 m³ 和 80 万 m³。表 2 中经济耗水量包括生活、工业及三产和农业耗水量,生态耗水量为扣除降水有效蒸发的径流性水资源消耗量。

2.2.3 水资源可持续利用评价

根据流域水量平衡分析成果,计算出湟水干流水资源可持续利用评价指标值,具体结果见表 3。

表 3 湟水干流水资源可持续利用评价分析

分 区	ET/10 ⁶ m ³	可控 ET/10 ⁶ m ³	经济耗水率	生态用水率
源 头	347.80	244.27	0.19	0.81
北川河	185.40	169.75	0.24	0.76
中 游	307.20	287.15	0.14	0.86
下 游	77.60	69.60	0.04	0.96

表 3 中的 ET 为狭义水资源的一切蒸发消耗水量。可控 ET 为由于人类的水资源开发利用的耗水量,主要包括经济耗水量和与人类活动有关的生态耗水量。根据青海省黄河取水许可总量控制指标细化方案分配给各地级行政区耗水指标,湟水干流的水资源可利用量为 8.66 亿 m³。2009 年湟水干流的可控 ET 为 7.7 亿 m³,扣除天然降水蒸发的耗水量为 9.18 亿 m³,湟水干流的耗水总量控制形势比较严峻。经济耗水率反映了流域分区经济耗水量占水资源总量的比例,由于北川河区水资源丰富,水质较好,除满足本地用水需求外还向源头区的西宁市和中游区调水,水资源开发利用程度较高,经济耗水率也最大。总体说来,湟水干流各流域分区的经济耗水率还比较小,没有出现明显的经济耗水挤占生态用水的现象。但是从表 2 可知,湟水干流各流域分区存在上下游关系,特别是中游区和下游区的水资源

总量中 50% 以上为上游的下泄水量,当地水资源条件对上游地区的依赖程度较高,北川河区和源头区的水资源消耗对中下游地区影响较大。同时,由于北川河区和源头区大量未经处理的污水直接排入水体,造成水质污染,影响中下游的水资源开发利用。

2.3 分析与讨论

2.3.1 流域水资源量的盈亏分析

从流域水量平衡分析可知,中游区和下游区存在严重的地下水超采现象。当地的主要用水集中于河谷地区,水利工程基本都能直接供水,不存在工程型缺水的情况。表明中下游局部地区资源型缺水严重,需要通过实施外调水和节水措施解决。

2.3.2 改变水资源配置模式

湟水干流可控 ET 已经快接近其可耗水水量的极限,随着西部大开发战略的进一步深入,湟水干流未来经济必然有一个快速发展趋势,势必造成社会经济耗水挤占生态用水。为了维持当地社会经济可持续发展和生态环境保护,传统基于供需平衡和耗水平衡分析的水资源配置已不能适应,需要对总量 ET 进行控制,实施以当地水资源条件为基础的产业结构调整和城市规划,合理分配社会经济耗水和生态环境用水比例。

2.3.3 提高耗水效率,加强节水

为实现有限水资源对社会经济发展的最大支撑能力,有效的节水措施必不可少。以单位 GDP 用水量和耗水量、吨均用水量和耗水量作为节水评价指标,能有效地提高单位用水量和耗水量的生产能力。湟水干流农业是用水和耗水大户,加强农业节水,在进行农业用水总量和耗水总量双重控制的同时,加大工业节水力度,提高工业用水效率。进行生活节水器具推广,加大生活节水宣传力度,提高污水处理厂的回用力度,既可避免水质污染,又解决当地的缺水问题。

3 结 语

笔者以流域“天然-人工”二元水循环模式和水资源优化配置模型为基础,构建了包括供需平衡系统、社会水循环系统、地表水系统、地下水系统和流域分区系统的狭义水资源评估模型。给出流域分区内经济耗水、生态耗水计算方法和评价模型的分析过程,提出了基于可控 ET 的经济耗水率和生态用水率的评价方法。在缺乏遥感和土地利用等资料的地区,该方法对宏观水资源开发利用数据依赖程度较低,在水文资料缺少的干旱缺水区域具有一定的应用前景。

以湟水干流为实例,利用构建的狭义水资源评估模型,对研究区近 5 年水资源开发利用过程中存在的问题进行分析。结合未来规划水平年的社会经

济发展规划及区域水资源配置格局,笔者针对自己的专业背景,给出相关的建议:在农业为用水和耗水大户,工业用水和耗水比例逐渐增加的情况下,加强外调水和节水措施管理,严禁地下水超采;针对整个湟水干流的耗水量已接近其可消耗水量的极限,社会经济耗水挤占生态用水严重的形势,应改变现有的水资源配置模式,在流域可控 ET 总量控制的基础上进行水资源配置;为防止资源型、水质型缺水情形扩大化,应加大以提高耗水效率为核心的节水截污力度。

本文的分析过程及结论尚存在以下不足:①文中只进行了狭义水资源的配置研究,需要进行广义和狭义水资源的综合研究;②狭义水资源评估模型还需与分布式水文模型结合,进行可控 ET 和不可控 ET 的综合研究,实现基于总量 ET 控制的水资源配置。

参考文献:

[1] 王浩,陈敏健,秦大庸. 西北地区水资源合理配置和承载能力研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003:20-51.

[2] 贾仰文,王浩,周祖昊. 海河流域二元水循环模型开发及其应用:I. 模型开发与验证[J]. 水科学进展,2010, 21(1):1-8.

[3] 魏传江,王浩. 区域水资源配置系统网络图[J]. 水利学报,2007,38(9):1103-1108.

[4] 魏传江. 水资源配置中的生态耗水系统分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2006,4(4):282-286.

[5] 中国水利水电科学研究院. 水资源全要素优化配置关键技术及示范研究[R]. 北京:中国水利水电科学研究院,2011.

[6] 田园. 世界银行贷款农业节水灌溉项目 ET 监测分析评价与 ET 管理[EB/OL]. [2001-10-05]. http://www.lrn.cn/specialtopic/gtzygljydt/xncjs/200706/t20070607_65643.htm.

[7] 钟玉秀. 基于 ET 的水权制度探析[J]. 水利发展研究, 2007 (2):14-16.

[8] 王树谦,李秀丽. 利用蒸腾蒸发管理技术实现真实节水研究[J]. 水资源保护,2008,24(6):68-71.

[9] 秦大庸,吕金燕,刘家宏. 区域目标 ET 的理论与计算方法[J]. 科学通报,2008,53(19):2384-2390.

[10] 刘家宏,秦大庸,王明娜. 区域目标 ET 的理论与计算方法[J]. 中国科学 E 辑:技术科学,2009,39(2):318-323.

[11] WANG Hao, WANG Cheng-ming. Theory of annual runoff evolution under natural-artificial dual mode and case study of Wuding River basin on the middle Yellow River[J]. Science in China Ser E:Engineering & Materials Science, 2004,47(Sup1):51-59.

[12] WU Bing-fang, YAN Na-na. A method of water consumption balance and application [J]. Journal of Remote Sensing, 2011,15(2):281-288.

(收稿日期:2011-11-25 编辑:徐 娟)