

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

孙栋元^{1,2}, 赵成义¹, 魏恒³, 寇思勇⁴, 彭冬梅¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 甘肃省水利科学研究所, 甘肃 兰州 730000;

3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 4. 河北省冶金研究院, 河北 石家庄 050031)

摘要: 从干旱区台兰河流域存在的环境问题出发, 在确定流域平原区生态环境需水类型的基础上, 构建了台兰河流域平原区生态环境需水定量模型, 估算了流域平原区生态环境的规模。计算结果表明, 台兰河平原区最大生态环境需水量为 $4.146 \times 10^8 \text{ m}^3$, 最小生态环境需水量为 $2.372 \times 10^8 \text{ m}^3$, 最适生态环境需水量为 $2.983 \times 10^8 \text{ m}^3$, 分别占台兰河平原区水资源总量 ($8.121 \times 10^8 \text{ m}^3$) 的 51.05%, 29.21% 和 36.73%。在不考虑河流输沙需水量的情况下, 台兰河河流生态环境需水量平均为 $1.440 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在考虑输沙需水量的情况下, 河流生态环境需水量平均为 $2.604 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。明确了在确定流域生态环境需水量时, 必须考虑研究区环境状况和生态保护目标, 从而在不同区域和用水部门间进行调配, 并针对流域不同的生态系统状况和对应生态系统类型确定了面向生态的水资源合理配置方案。

关键词: 干旱区; 内陆河流域; 生态环境需水; 台兰河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)04-0082-07

中图分类号: TV213.4, X143, X171

Ecο-environmental Water Requirement of Plain Regions in Arid Inland River Basin — A Case Study on Tailan River Basin in Xinjiang Uygur Autonomous Region

SUN Dong-yuan^{1,2}, ZHAO Cheng-yi¹, WEI Heng³, KOU Si-yong⁴, PENG Dong-mei¹

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

2. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou, Gansu 730000, China;

3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China; 4. Metallurgy Research Institute of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050031, China)

Abstract: In view of the present main environmental problems in the Tailan River basin, based on the types of ecο-environmental water requirement for river basins, quantification model of ecο-environmental water requirement for plain regions of Tailan River basin is established and the scale of ecο-environmental water requirement is estimated. The results indicate that the maximum of ecο-environmental water requirement is $4.146 \times 10^8 \text{ m}^3$, the minimum is $2.372 \times 10^8 \text{ m}^3$ and the optimum is $2.983 \times 10^8 \text{ m}^3$, which take 51.05%, 29.21% and 36.73% of the regional water gross, respectively. Average ecο-environmental water requirement in Tailan River is $1.440 \times 10^8 \text{ m}^3$ when excluding water requirement of sand transportation, and $2.604 \times 10^8 \text{ m}^3$ if considering the water requirement of sand transportation. According to environmental status and the aim of ecological protection, ecο-environmental water requirement in river basin can be ascertained. Consequently, water resources use will be allocated in different area and different usage department, and the rational scheme of water resources in ecology will be confirmed based on the different status of ecosystem and corresponding types of ecosystem in arid inland river basin.

Keywords: arid regions; inland river basin; ecο-environmental water requirement; Tailan River Basin

收稿日期: 2010-12-03

修回日期: 2010-12-22

资助项目: 国家自然科学基金青年基金项目“准噶尔荒漠梭梭植物构型及其对水分的响应与适应研究”(30900180); 国家重点基金项目“胡杨林生态格局与过程对洪水漫溢、人工灌溉的响应与调控”(40830640); 国家基础科学研究(973)发展计划项目“绿洲化的水、土、气、生过程及其相互作用机制”(2009CB421302); 水利部公益性项目(201001060)

作者简介: 孙栋元(1978—), 男(汉族), 甘肃省民乐县人, 博士, 工程师, 主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: gs_auandy@126.com。

生态环境需水是目前生态学和水科学研究的热点领域,近年来已经引起许多学者的关注^[1-5]。生态环境需水是在生态问题日益严重的背景下提出的,研究生态环境需水的目的是为水资源的合理配置提供科学依据,最终实现水资源的可持续利用以及流域(区域)生态与环境的保护。在干旱区,受到全球变化和人类水土资源开发活动的影响,可利用水资源已成为干旱区生态恢复、经济发展和人民生活水平不断提高的限制因素。特别是经济社会用水的快速增长及其对生态与环境用水的严重挤占,使得干旱区流域水资源短缺与生态退化这对孪生问题,成为实现流域可持续发展的关键障碍^[6-7]。因此,干旱区流域生态环境需水研究已成为流域科学研究的重点。随着我国生态环境需水研究的不断深入,相关的理论逐渐趋于成熟,生态环境需水成为水资源规划、水资源配置、水利工程建设项目中环境影响评价所必须考虑的重要内容,同时成为水生态系统修复、湿地与生物多样性保护等科学研究的关键内容^[8-9]。因此,如何确定和评价生态环境需水,也成为各级有关政府部门和众多学者关心的热点问题。目前,有近50个国家开展了生态环境需水量的研究,主要集中于河流^[10-11]、湖泊^[12-13]、湿地^[14-15]、植被^[16-17]和城市^[18]等各种生态系统。总体看来,近年来生态环境需水研究的突出成果就是初步建立了生态环境需水量的计算方法体系,对于给定状态的生态系统,可以方便地计算出其需水量。然而以往的研究大多估算某一种或几种生态系统的生态需水量,在流域尺度上进行综合估算生态系统的生态环境需水方面的研究还不多见,这在一定程度上制约了生态环境需水研究成果在实践中的应用。因此,评估流域生态系统的生态环境需水成为当务之急,在进行水资源配置时,不仅要考虑生产和生活用水,还必须同时考虑生态用水。只有这样,才能实现水资源的可持续利用和流域生态环境的恢复和重建。本研究根据当前生态环境需水研究的热点问题,通过分析流域平原区生态系统生态环境需水的结构,构建了台兰河流域平原区生态环境需水量模型,估算了流域平原区生态环境的规模,从而为干旱区流域生态环境需水理论研究与实践相结合提供一种可借鉴的思路和方法,为水资源的合理配置和生态系统的良性循环提供依据。

1 研究区概况

台兰河流域位于新疆维吾尔自治区阿克苏地区温宿县境内,地理坐标为 $80^{\circ}21'44''-81^{\circ}10'14''E$, $40^{\circ}41'41''-42^{\circ}15'13''N$,地处北温带干旱区,气候干燥,日照充足,

多风沙,降水稀少,蒸发较大,昼夜温差大,多年平均降水量为177 mm,多年平均蒸发量高达1 800 mm,属典型干旱大陆性气候。从地形地貌上看,流域分为丘陵区和冲洪积平原区,总体地势北高南低,可明显分为3个带,即上游冲洪积倾斜平原带,中游冲洪积扇细土平原带和下游冲洪积扇细土平原荒漠地带。根据岩性结构特征及相对关系和所处的地貌部位划分,主要为上更新统冲洪积砂砾石层全新统冲洪积物。

过去几十年,台兰河流域平原区水资源的开发利用主要考虑农业用水和生活用水的经济效益,忽视生态环境用水方面的基本需求。由于流域平原区来水量年内变化幅度较大且分配极不均匀,洪枯悬殊,区域内无调节水库,造成春秋旱严重,夏季危害频繁,地表水资源未充分利用,土壤盐渍化现象突出。

2 研究区生态环境需水理论框架

生态需水是指维持生态系统中具有生命的生物物体水分平衡所需要的水量。主要包括了维护天然植被所需要的水量,水土保持及水保范围之外的林草植被建设所需要的水量,保护水生生物所需要的水量。环境需水则是指为保护和改善人类居住环境及其水环境所需要的水量。然而,生态需水量与环境需水量很难隔离开来探讨。已有关于生态需水量和环境需水量的研究多数都基于“水生态”和“水环境”两方面需水的考虑^[9]。面对不同的系统和不同的功能需求,生态环境需水量可以以不同的形式出现。由于满足不同功能的需水并不总是能够截然分开的,因此生态环境需水量的确定既需要按照系统功能分别考虑,又需要依据各功能之间的关系进行统一计算。因此,本研究认为台兰河平原区生态环境需水量是在一定时空尺度和特定的生态环境保护目标条件下,维持生态系统价值、生物多样性和最低系统风险的需水量。

根据区域生态环境需水量的定义,认为其内涵主要包括:(1)天然植被需水量;(2)湿地需水量,维持湿地(含沼泽、湖泊等)基本功能和湿地内动植物耗水的需水量;(3)河道内水生动植物的需水量,维持水生动植物正常生理功能和栖息地所需水量;(4)维持河流、湿地等的热平衡、盐平衡、沙平衡、营养平衡等与生态过程相关的地球物理过程的需水量。

生态环境需水量是单项功能需水量之和。满足单项功能的需水量并不能表明可以满足多种功能的要求。因此,生态环境需水计算应该是从整体到局部都能满足的水量。从一般意义上归纳出生态环境需水及其阈值的确定原则。(1)生态环境需水量应该按照功能性需求原则确定满足生态区各项功能目标

的具体需水量; (2) 生态环境需水量随季节不断变化, 因此生态环境需水量及其阈值的计算必须分时段分别加以讨论; (3) 生态环境需水量的研究对象不同其水质要求也不同, 在水源污染的情况下应该考虑污染物稀释流量; (4) 在不同时段或生态区, 生态区各项功能的重要程度有所不同, 应该按照主要功能区优先考虑的原则确保生态系统功能主要目标的实现; (5) 生态系统所需满足的各种类型的生态环境需水量在单项功能目标分析的基础上按照多功能协调原则考虑各种组合的对应结果。

3 研究区生态环境需水计算模型

确定生态环境需水量必须考虑研究区的环境状况和生态保护目标, 不同的生态系统状况对应不同的生态系统类型。因此在建立区域生态环境需水量模型时, 既要考虑研究区生态系统的时空差异, 又要考虑生态系统的特殊性。本研究根据生态环境需水量的概念与内涵, 以及确定生态环境需水量的理论框架, 进而进行生态区的划分, 从而建立计算模型。则区域生态环境需水量模型为:

$$W = W_v + W_r + W_w + W_s - W_{re} \quad (1)$$

式中: W ——区域生态环境需水量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); W_v ——天然植被生态环境需水量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); W_r ——河流(水生植物和动物)生态环境需水量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); W_w ——湿地(含沼泽、湖泊等)生态环境需水量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); W_s ——防治耕地盐碱化的环境需水量; W_{re} ——重复计算量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)。

3.1 天然植被生态环境需水量 W_v 计算方法

根据干旱区植被生长主要依赖地下水, 在时间和空间尺度选择上, 遵循方便、合理、实用的原则, 时间按月计算, 空间上按植被优势物种划分^[19]。建立计算 W_v 的数学模型:

$$W_v = \sum_{j=1}^{12} \sum_{i=1}^n K \cdot ET_{ij} \cdot A_i \quad (2)$$

其中 ET_{ij} 可根据阿里维杨诺夫公式计算, 即:

$$ET_{ij} = a(1 - H/H_{\max})^b \cdot (E_{\Phi 20})_{ij} \quad (3)$$

式中: K ——植被系数; A_i —— i 种生态区(林地、草地、农田、农牧交错区等)的面积 (m^2); ET_{ij} —— i 种生态区第 j 月的潜水蒸发量 (mm); W_v ——研究区总的植被年生态环境需水量 (m^3/a); $(E_{\Phi 20})_{ij}$ ——为 i 种生态区第 j 月的常规气象蒸发皿蒸发值 (mm); H ——为地下水埋深 (m); H_{\max} ——地下水蒸发极限深度 (m); a, b ——为经验系数, 取 $a = 0.62, b = 2.80$; $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, 12$ 。

3.2 河流生态环境需水量 W_r 的计算方法

河流生态环境需水量应该按照一定的原则和步

骤确定。其基本原则包括: 功能性需求原则、分时段考虑原则、分河段考虑原则、主功能优先原则、效率最大化原则、后效最小化原则、多功能协调原则和全河段优化原则^[20]。为了数学描述的方便, 本研究只考虑前两个原则, 根据以上原则建立河流生态环境需水量的计算模型, 但这里主要涉及河流的基本生态环境需水量、水质净化需水量、输沙需水量、河道渗漏补给需水量和水面蒸发需水量。

$$W_r = \max(W_b, W_c, W_s) + W_l + W_e \quad (4)$$

式中: W_b, W_c, W_s, W_l, W_e ——分别为河流基本生态环境需水量、水质净化需水量、水输沙需水量、河道渗漏补给需水量和水面蒸发需水量。由于台兰河属于西北典型内陆河流域之一, 其河水可以满足饮用与灌溉的需要, 因此在计算河流生态环境需水量时不用考虑计算河流水质污染稀释自净需水量 W_c 。

3.2.1 河流基本生态环境需水量 W_b 的计算 河流基本的生态环境需水量主要用以维持水生生物的正常生长, 以及满足部分的排盐、入渗补给、污染自净等方面的要求。对于常年性河流而言, 维持河流的基本生态环境功能不受破坏, 就是要求年内各时段的河川径流量都能维持在一定的水平上, 不出现诸如断流等可能导致河流生态环境功能破坏的现象。基于这种考虑, 以河流最小月平均实测径流量的多年平均值作为河流的基本生态环境需水量^[11]。计算公式为:

$$W_b = \frac{T}{n} \sum \min Q_{ij} \times 10^{-8} \quad (5)$$

式中: W_b ——河流的基本生态环境需水量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); Q_{ij} ——第 i 年第 j 月的河流月均流量 (m^3/s); T ——常数, 将时间年转化为秒, 其值为 $3.1536 \times 10^7 \text{ s}$; n ——统计年数。

3.2.2 河流输沙需水量 W_s 的确定 输沙是河流系统的另一个重要功能。为了输沙、排沙, 维持河道冲淤的动态平衡, 需要一定的环境用水量, 这部分水量就称为输沙平衡用水量。在一定的输沙总量要求下, 输沙水量直接取决于水流含沙量的大小^[11]。河流的输沙量不仅随着年内水沙分配特点发生变化, 还与河流中的含沙量的变化密切相关。由于水流含沙量因流域产沙量的多少、流量的大小以及其它水沙动力条件的不同而异, 输沙水量也因此发生相应的变化。从提高单位水资源利用率的角度出发, 同时考虑到河流的输沙功能主要在汛期完成, 因此, 汛期用水应优先满足河流输沙功能的基本要求, 在满足输沙用水的同时, 兼顾河流生态用水和河流水污染防治用水的要求。将汛期用于输沙的水量和非汛期调水调沙(冲沙)的水量计算为河流生态环境需水量的一部分, 河流汛期输沙用水量的计算公式为:

$$W_s = \frac{S_n}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max(C_{ij})} + \frac{S_s}{S^*} \quad (6)$$

$$\text{其中 } S^* = 0.02 \left(\frac{U^3}{RW} \right)^{0.92}$$

式中: W_s ——河流输沙需水量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); S_n ——多年平均输沙量 (kg); C_{ij} ——第 i 年第 j 月的河流月均含沙量 (kg/m^3); n ——统计年数; S_s ——多年平均泥沙淤积量 (kg); S^* ——河道不冲不淤临界状态下的水流挟沙能力的多年平均值 (kg/m^3); R ——水力半径, 对于宽浅的天然河道可用平均水深 H 替代 (m); W ——泥沙沉降速度 (m/s)。

3.2.3 河道渗漏补给需水量 W_l 的确定 当河道水位高于河岸区地下水位时, 河水在重力作用下, 以渗流形式补给地下水, 此时该部分水量就成为维持河流河岸生态系统正常生态功能的主要水源。因此, 针对每条河道的水文特性和河岸地下水动态进行分析后才能确定河水补给地下水的河段, 然后, 逐段进行渗漏补给量的计算。河道渗漏补给量的大小主要受河床岩性、河道输水流量、地下水埋深等因素的影响。河道年渗漏补给量可按达西定律计算:

$$W_l = 2K \cdot I \cdot L \cdot H \cdot t \quad (7)$$

式中: W_l ——河道年渗漏补给量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); K ——含水层渗透系数 (m/d); I ——水力坡度 (‰); L ——含水层厚度 (m); H ——过水断面宽度 (m); t ——时间 (d)。

3.2.4 河流水面蒸发生态需水量 W_e 的确定 为了维持河流系统正常生态功能, 当水面蒸发高于降水时, 必须从河流河道水面系统接纳的以外的水体来弥补, 将这部分水量称为水面蒸发生态需水量。当降水量大于蒸发量时, 就认为蒸发生态需水量为零^[21-22]。根据水面积、降水量、水面蒸发量, 可求得相应蒸发生态需水量, 计算公式为:

$$W_e = \begin{cases} A(E - P) & (E > P) \\ 0 & (E < P) \end{cases} \quad (8)$$

式中: W_e ——河流水面蒸发生态需水量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); A ——水面面积 (km^2); E ——水面蒸发强度 (mm); P ——平均降水量 (mm)。

水面蒸发强度 E 可用下式表示, 将 20 cm 直径蒸发皿的水面蒸发量折算为标准的 20 m^2 水面蒸发池观测的水面蒸发量, 其水面折算系数为:

$$E = K \cdot E_{20} \quad (9)$$

$$K = E' / E_{20} \quad (10)$$

式中: K ——水面蒸发折算系数; E_{20} ——20 cm 常规蒸发皿观测的水面蒸发量 (mm); E' —— 20 m^2 水面蒸发池观测的水面蒸发量 (mm)。

3.3 湿地生态环境需水量 W_w 确定

湿地、沼泽、湖泊、洼地生态环境需水量主要考虑为维持其特定的水、盐以及水生生态条件, 湿地、沼泽、湖泊、洼地 1 a 内消耗的水量。在干旱内陆河区域由于蒸发量远大于降水量, 可以认为, 湿地、湖泊、洼地的生态环境用水主要是用以维持湿地、湖泊、洼地水量平衡而消耗于蒸发的水量。事实上, 湿地、湖泊等的生态环境需水量的确定远比这复杂的多, 因为湿地类型不同, 生态环境需水量的计算方法也存在差异。其计算公式为:

$$W_w = \sum_{i=1}^n A_i (E_i - P) \quad (11)$$

式中: W_w ——湿地、湖泊、洼地的生态环境需水量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); A_i ——某一湿地、湖泊、洼地的水面面积 (hm^2); E_i ——相应的水面蒸发能力, 按公式(11)计算。

3.4 防治耕地盐碱化环境需水量 W_s 的确定

干旱区内陆河流域, 由于水资源短缺, 特别是春旱严重, 通常采用秋天灌溉、春播前灌溉和生育期加大灌溉定额的方法减少盐分对农作物的危害。这部分具有双重作用, 加大的灌溉水量, 称之为防治土地盐碱化的环境需水量^[23]。其计算公式为:

$$W_s = A_s \times m_s \quad (12)$$

式中: W_s ——防治土地盐碱化的环境需水量 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); A_s ——盐碱化土地面积 (hm^2); m_s ——盐碱土地环境需水定额 (m^3/hm^2)。

4 结果与分析

4.1 天然植被生态环境需水量估算

干旱区植被的生态耗水主要是潜水的蒸发, 在计算天然植被的生态环境需水量时可按不同植被类型和不同生长状况下的潜水平均埋深蒸发值进行计算, 不同潜水埋深的蒸发值, 按面积定额法计算。利用已经建立的天然植被生态环境需水计算方法, 结合 2000 年和 2005 年台兰河平原区土地利用类型, 从而计算出 2000 年台兰河流域平原区维护植被生态环境需水量计算结果 $9.260 \times 10^7 \text{ m}^3$, 2005 年为 $8.310 \times 10^7 \text{ m}^3$ (表 1)。按不同植被计算的生态需水量, 2000 年林地需水量占 39.45%, 为 $3.940 \times 10^7 \text{ m}^3$, 草地占 60.55%, 为 $6.060 \times 10^7 \text{ m}^3$; 2005 年林地需水量占 42.71%, 为 $4.270 \times 10^7 \text{ m}^3$, 草地占 57.29%, 为 $4.850 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。

不同植被类型单位面积最低生态需水量表明 (表 1), 沼泽草地需水量最高, 达到 $11327.4 \text{ m}^3/\text{hm}^2$; 其次为有林地与高覆盖度草地, 分别为 3478.8 和

1 946.0 m³/hm²; 单位面积生态需水量最小的为其它林地及低覆盖度草地, 仅 24.6 m³/hm²。这主要是由于地下水位埋深及不同的植被类型所引起的。沼泽草地的地下水埋深基本上在小于 1 m 范围内, 其潜水蒸发的强度最大, 所以要维持其植被类

型, 单位面积所需水量也是最大的。从 2000 年与 2005 年台兰河平原区植被类型面积(表 1)可以看出中覆盖草地面积最大, 其次为灌木林地与低覆盖度草地, 有林地、其它林地面积很小, 沼泽草地面积最小, 表明当地天然生态系统植被类型以草地与灌木林地为主。

表 1 按不同植被类型计算台兰河流域平原区的生态最低需水量

土地利用类型	单位面积最低需水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	2000 年		2005 年	
		面积/hm ²	需水量/10 ⁷ m ³	面积/hm ²	需水量/10 ⁷ m ³
有林地	3 478.8	3 351.0	1.170	3 380.0	1.180
灌木林地	736.2	35 281.4	2.600	33 095.5	2.240
其它林地	24.6	2 582.0	0.010	2 521.9	0.010
高覆盖度草地	1 946.0	6 348.7	1.240	5 567.3	1.080
中覆盖度草地	736.2	55 948.7	4.120	45 978.1	3.380
低覆盖度草地	24.6	28 945.3	0.070	39 697.4	0.100
沼泽草地	11 327.4	133.8	0.150	102.8	0.120
总计			9.260		8.310

4.2 河流生态环境需水量估算

4.2.1 河流基本生态环境需水量 利用 1956—2005 年台兰水文站的近 50 a 的河流流量统计数据, 并根据公式(5), 经计算得出台兰河基本生态环境需水量为 1.202 × 10⁸ m³。采用 Tennant 法(取多年平

均年径流量的百分比作为河道基本生态环境需水量)在 10% 情况下(7.710 × 10⁷ m³), 计算结果与按照多年最小流量法的计算结果比较(表 2), 取二者平均值 9.870 × 10⁷ m³ 作为台兰河流域河流基本生态环境需水量。

表 2 Tennant 法计算的台兰河流域基本生态环境需水量

径流比例/%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
基本生态环境需水量/10 ⁸ m ³	0.771	1.541	2.312	3.082	3.853	4.623	5.394	6.164	6.935	7.705

4.2.2 河流输沙需水量 台兰河含沙量年内分配极为不匀, 汛期(6—8 月)的含沙量占全年含沙量的 80% 以上, 多年平均输沙量为 2.88 × 10⁶ m³, 最大月平均含沙量 13.39 kg/m³, 汛期的水量能够满足输沙的要求, 所以输沙生态环境需水量主要为非汛期的输沙需水量, 根据公式(6), 计算得出输沙需水量为 2.150 × 10⁸ m³。

4.2.3 河流渗漏补给需水量 台兰河干流全长 90 km, 渗透系数取 2.43, 水力坡度为 0.004, 含水层厚度取 30 m, 时间为 365 d^[24], 并根据公式(7), 计算入渗量为 1.920 × 10⁷ m³。

4.2.4 河流水面蒸发生态需水量 河流水面蒸发是河流水量消耗的重要方式之一, 它需要一定的水量来维持河流的正常生态环境功能。台兰河流域多年平均降水量为 62.4 mm/a, 多年蒸发量 1 865.0 mm/a。根据中国科学院阿克苏水平衡站多年观测资料, 计算出水面蒸发折算系数为 0.58, 因此根据公式(8), 分别计算出 2000 年与 2005 年的河流水面蒸发生态需水量为 2.610 × 10⁷ m³ 和 2.620 × 10⁷ m³(表 3)。

4.2.5 河流生态环境需水总量 河道内的生态环境用水属于可控制生态环境用水(如输沙需水量的人工

调配), 在水资源合理配置中, 必须优先满足。在不考虑河流输沙需水量的情况下, 河流生态环境需水量平均为 1.440 × 10⁸ m³。其中河流基本生态环境需水量占河流生态环境需水量的 69%, 水面蒸发环境需水量与渗漏补给需水量分别占为 18% 和 13%(表 4)。在考虑输沙需水量的情况下, 河流生态环境需水量平均为 2.604 × 10⁸ m³。河流输沙环境需水量占河流生态环境需水总量的 83%, 河流水面蒸发生态需水量占 10%, 河道渗漏补给需水量占 7%(表 4)。

表 3 台兰河平原区水域蒸发需水量计算

水域类型	面积/hm ²		蒸发需水量/10 ⁸ m ³	
	2000 年	2005 年	2000 年	2005 年
河渠	2 498.51	2 503.38	0.261	0.262
湖泊	28.69	20.23	0.003	0.002
水库	106.32	867.57	0.011	0.091
总计	2 633.53	3 391.17	0.275	0.355

4.3 湿地生态环境需水量估算

在干旱区, 湿地、湖泊、水库、洼地的生态环境用水主要是用以维持湿地、湖泊、洼地水量平衡而消耗于蒸发的水量, 因此计算平原区的湿地、湖泊、洼地的

水面蒸发量,即为湿地生态环境需水量。因此,根据公式(11),计算湿地生态环境需水量为2000年 $1.400 \times 10^6 \text{ m}^3$,2005年 $9.300 \times 10^6 \text{ m}^3$ (表5)。虽然需水总量在区域所占比例在1%左右,但湿地生态环境需水总量2005年是2000年的6.6倍。这主要是因为随着流域耕地面积的不断增大,相应地水利设施也在不断加大,扩大了人工水库面积,从而使得台兰河平原区湿地面积不断上升,继而有进一步增大的趋势。

表4 河流生态环境需水总量

需水项目	2000年各 项需水/ 10^8 m^3	2005年各 项需水/ 10^8 m^3	不考虑 输沙比 例/%	考虑输 沙比例/ %
基本生态需水	0.987	0.987	69.0	0
输沙环境需水	2.150	2.150	0	83.0
河流渗漏补给需水	0.192	0.192	13.0	7.0
水面蒸发生态需水	0.261	0.262	18.0	10.0

4.4 防治耕地盐碱化环境需水量估算

台兰河流域春旱严重,耕地盐碱化达到总耕地面积的70%以上^[24]。由于不合理的灌水方法、过高的溉水定额和排水系统不完善是造成当地盐碱化的主要原因。

根据当地的灌溉制度,通常采用秋天储水灌溉、春天播前灌溉和生育期加大灌溉定额的方法减少盐分对作物的危害。一方面用较大的水量能将土壤中的盐分淋洗达到作物生长的目标,另一方面还要节约用水,防止抬高地下水位和影响土壤肥力^[23]。根据新疆地区不同质地不同含盐量土壤的洗盐定额,从而确定台兰河灌区播前水的灌溉定额为 $1\ 050 \sim 1\ 200 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,中低产田改造平均增加灌溉定额为 $500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,该灌区以种植棉花为主,全年增加灌水4次,则平均增加灌溉定额为 $2\ 000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

表5 台兰河平原区生态环境需水总量 10^8 m^3

需水项目	2000年	2005年
天然植被生态环境需水量	0.926	0.831
基本生态环境需水量	0.987	0.987
河 输沙环境需水量	2.150	2.150
流 河流渗漏补给需水量	0.192	0.192
水面蒸发生态环境需水量	0.261	0.262
湿地生态环境需水量	0.014	0.093
防治耕地盐碱化环境需水量	0.580	0.640

因此,初步估算台兰河平原区防治耕地盐碱化的环境需水定额为 $2\ 000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。2000年灌区中低产田面积达 $2.90 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占耕地面积的70%,则区域防治耕地盐碱化的环境需水量为 $5.800 \times 10^7 \text{ m}^3$,

2005年中低产田面积为 $3.05 \times 10^4 \text{ hm}^2$,防治耕地盐碱化的环境需水量为 $6.400 \times 10^7 \text{ m}^3$ (表5)。

4.5 生态环境需水总量估算

生态环境的保护,以维持现状为基本原则,因此,在基于不同生态环境保护目标下,总需水量的差异非常大。根据表5分别计算台兰河平原区生态环境需水的最大值、最小值及最适值。

(1) 最大生态环境需水量(情景1)。若生态环境保护目标包括保证台兰河河道水沙平衡,即考虑输沙环境需水量,由表5可知,在保证输沙需水的前提下,河流基本生态环境需水量、河道渗漏环境需水量都可以得到满足,因此台兰河平原区生态环境需水总量为:天然植被生态环境需水量+河流输沙环境需水量+河道渗漏补给需水量+河流水面蒸发量+湿地生态环境需水量+防治耕地盐碱化环境需水量。计算2000年为 $4.123 \times 10^8 \text{ m}^3$,2005年为 $4.168 \times 10^8 \text{ m}^3$,取其二者的平均值 $4.146 \times 10^8 \text{ m}^3$,作为台兰河平原区生态环境需水最大值。

(2) 最小生态环境需水量(情景2)。若生态环境保护目标是仅保证天然生态系统需水量(天然植被生态环境需水量与湿地环境需水量),则台兰河平原区生态环境需水总量=天然植被生态环境需水量+湿地生态环境需水量+河流基本生态环境需水量+河道渗漏补给需水量+河流水面蒸发量。计算得出,2000年为 $2.380 \times 10^8 \text{ m}^3$,2005年为 $2.365 \times 10^8 \text{ m}^3$,取其二者的平均值 $2.372 \times 10^8 \text{ m}^3$,作为台兰河平原区生态环境需水最小值。

(3) 最适生态环境需水量(情景3)。若生态环境保护目标为天然生态系统需水量与防治耕地盐碱化需水要求,则台兰河平原区生态环境需水总量=天然植被生态环境需水量+湿地生态环境需水量+河流基本生态环境需水量+河道渗漏补给需水量+河流水面蒸发量+防治耕地盐碱化环境需水量。计算2000年为 $2.960 \times 10^8 \text{ m}^3$,2005年为 $3.005 \times 10^8 \text{ m}^3$,取其二者的平均值 $2.983 \times 10^8 \text{ m}^3$,作为台兰河生态环境需水最适值。

5 结论

(1) 根据所建模型,对台兰河平原区生态环境需水量进行计算,得出最大生态环境需水量为 $4.146 \times 10^8 \text{ m}^3$,最小生态环境需水量为 $2.372 \times 10^8 \text{ m}^3$,最适生态环境需水量为 $2.983 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占台兰河平原区水资源总量($8.121 \times 10^8 \text{ m}^3$)的51.05%,29.21%与36.73%。结果表明,台兰河平原区水资源开发的潜力不大,要实现区域的可持续性发展,必

须确保生态系统和社会系统耗水各占 50% 的最低耗水状态。当地农业发展应该走节水和高效利用的道路, 否则水资源开发过度, 将加剧该区的生态环境恶化程度。

(2) 河道内的生态环境用水属于可控制生态环境用水, 在水资源合理配置中, 必须优先满足。在不考虑河流输沙需水量的情况下, 台兰河河流生态环境需水量平均为 $1.440 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在考虑输沙需水量的情况下, 河流生态环境需水量平均为 $2.604 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。河道外生态环境需水属于不可控制生态环境需水量, 取决于降水、经济用水、地下水等多种因素, 在水资源合理配置中, 需要综合考虑, 优化配置。

(3) 台兰河流域土地利用变化造成的下垫面性质的改变, 进而影响流域生态需水结构的变化, 随着流域耕地面积不断扩大, 势必对水资源的需求也相应地增加, 而在地表水资源不足的情况下, 地下水资源的开采量呈现日益增大的趋势, 相应的农业用水在一定程度上挤占生态用水, 这样就缩减地下水补充天然植被和湿地生态环境需水, 从而导致流域生态环境的恶化。针对台兰河流域水资源利用现状, 在确定流域生态环境需水量时必须考虑研究区的环境状况和生态保护目标, 从而在不同区域和用水部门间进行调配, 并针对不同的生态系统状况和对应生态系统类型确定面向生态的水资源合理配置。在流域水资源综合评价与筛选, 以保证灌区生态、经济效益最大为目标, 控制灌溉用水与生态环境需水的区域水量平衡, 确保流域生态目标和经济目标的协调发展。

[参 考 文 献]

- [1] Whipple W, Dubois J D, Grigg N, et al. A proposed approach to coordination of water resource development and environmental regulations[J]. Journal of the American Water Resources Association, 1999, 35 (4): 713-7161.
- [2] 胡广录, 赵文智. 干旱半干旱区植被生态需水量计算方法评述[J]. 生态学报, 2008, 12(28): 6282-6291.
- [3] 王西琴, 张远, 刘昌明. 辽河流域生态需水估算[J]. 地理研究, 2007, 26(1): 22-28.
- [4] 陈锐, 邓祥征, 战金艳, 等. 流域尺度生态需水的估算模型与应用: 以克里雅河流域为例[J]. 地理研究, 2005, 24(5): 725-731.
- [5] 马乐宽, 李天宏, 刘国彬. 基于水土保持的流域生态环境需水研究[J]. 地球科学进展, 2008, 23(10): 1102-1110.
- [6] 严登华, 王浩, 杨舒媛, 等. 干旱区流域生态水文耦合模拟与调控的若干思考[J]. 地球科学进展, 2008, 23(7): 773-778.
- [7] Maciej Zalewski. Ecohydrology: The scientific back-

ground to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources[J]. Ecological Engineering, 2001, 16: 1-8.

- [8] 王西琴, 刘昌明, 张远. 基于二元水循环的河流生态需水量与水质综合评价方法: 以辽河流域为例[J]. 地理学报, 2006, 61(11): 1132-1140.
- [9] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲, 等. 生态环境需水量理论、方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-250.
- [10] King J, Louw D. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology[J]. Aquatic Ecosystem Health and Management, 1998, 1: 109-124.
- [11] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态需水量计算[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 496-500.
- [12] Liu J L, Yang Z F. Ecological and environmental water demand of the lakes in the Haihe-Huaihe Basin of North China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2002, 14(2): 234-238.
- [13] 刘静玲, 杨志峰. 湖泊生态环境需水量计算方法研究[J]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 604-609.
- [14] 李九一, 李丽娟, 姜德娟, 等. 沼泽湿地生态储水量及生态需水量计算方法探讨[J]. 地理学报, 2006, 61(3): 289-296.
- [15] Cui B S, Yang Z F. Eco-environmental water requirement for wetlands in Huang-Huai-Hai Area[J]. China Progress in Natural Science, 2002, 12(11): 841-848.
- [16] Zhao W Z, Chang X L, He Z B, et al. Study on vegetation ecological water requirement in Ejina Oasis[J]. Science in China (D), 2007, 50(1): 121-129.
- [17] 张远, 杨志峰. 林地生态需水量计算方法与应用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1566-1570.
- [18] 杨志峰, 尹民, 崔保山. 城市生态环境需水量研究: 理论与方法[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 389-396.
- [19] 何永涛, 闵庆文, 李文华. 植被生态需水研究进展及展望[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 8-13.
- [20] 倪晋仁, 金玲, 赵业安, 等. 黄河下游河流最小生态环境需水量初步研究[J]. 水利学报, 2002(10): 1-7.
- [21] 刘凌, 董增川, 崔广柏, 等. 内陆河流生态环境需水量定量研究[J]. 湖泊科学, 2001, 14(1): 25-31.
- [22] 王让会, 卢新民, 宋郁东, 等. 西部干旱区生态需水的规律及特点: 以塔里木河下游绿色走廊为例[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 520-524.
- [23] 胡顺军, 顾桂梅, 李岳坦, 等. 塔里木河干流流域防治耕地盐碱化的生态需水量[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(1): 145-148.
- [24] 新疆水利水电勘测设计研究院. 新疆阿克苏地区台兰河灌区规划报告[R]. 新疆 乌鲁木齐: 新疆水利水电勘测设计研究院, 2003.