

内陆河干旱区生态需水分析

陈敏建, 王 浩, 王 芳, 唐克旺, 王 研

(中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

摘要: 根据水分驱动生态演变模型, 以水分运动和补给条件, 研究了内陆河平原生态系统的需水结构。生态需水分为过渡带生态需水, 绿洲生态需水; 绿洲生态需水又进一步分为天然绿洲生态需水和人工绿洲生态需水。通过流域水分平衡和地面观测资料确定了生态圈层结构的水分需求, 以及降水与径流对水分需求的补给比例。生态需水的分析计算, 类似于供需平衡分析。从植物生理角度分析生态需水, 得到天然植被的总腾发量 E_t , 作为植被生态需水总量。各典型天然植被的 E_t 通过实验资料获得。将植被和水面的总生态需水量扣除有效降水补充的部分, 即为径流性生态需水量 GE 。另一方面, 以流域为单元进行降水和径流统一考虑的水分综合平衡, 进行生态可利用水量分析。得到生态系统可能实际利用的径流性水资源量 GR 。

将生态需水量 GE 与生态系统可能实际利用的水资源量 GR 进行平衡分析, 计算实际生态耗水, 并分析盐碱地无效耗水。根据 2020 年生态状态情景分析, 作出了 2020 年生态需水与生态系统结构演变的预测。

关键词: 生态需水; 需水结构; 平衡分析

Ecological water demand analysis in Arid Region

CHEN Min-Jian, WANG Hao, WANG Fang, TANG Ke-Wang, WANG Yan (China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China) · *Acta Ecologica Sinica*. 2004, 24(10): 2136 ~ 2142.

Abstract: Based on water-driven ecological evolution model, this paper, started with water movement and supply conditions, researched the plain ecosystem water demand structure of inland rivers. The ecological water demand is divided into transition zone ecological water demand and oasis zone ecological water demand. The oasis zone ecological water demand can be further divided into artificial oasis water demand and natural oasis water demand. According to the basin water quantity balance and the observed information on land surface, the water demand of ring and layer structure ecosystem and the proportion of between precipitation and runoff which contribute to ecological water demand was confirmed. Ecological water demand analysis is similar to the supply-demand balance analysis. The total evapo-transpiration (E_t) of natural vegetation is obtained by the analysis of the plant physiological conditions, which is taken as the vegetation ecological water demand. The typical natural plant E_t can be obtained by experimental data. The runoff ecological water demand GE can be calculated by deducting the efficient precipitation from the total plant and water surface ecological water demand. On the other hand, the available runoff water quantity for the ecosystem GR can be obtained by water quantity balance analysis based on the comprehensive runoff-precipitation for a certain river basin.

By the balancing analysis between the ecological water demand GE and the available water supply GR , we can calculate the actual ecological water consumption and analyze the unavailable water consumption in the saline land. According to the scenario analysis on the ecological state in 2020, the ecological water demand prediction and the ecosystem evolution process in 2020 have been made out.

Key words: ecological water demand; structure of water demand; water balance analysis

文章编号: 1000-0933(2004)10-2136-07 中图分类号: P333, TV213.4, X143 文献标识码: A

基金项目: 国家“九五”科技攻关资助项目(96-912-01-04, 96-912-01-01S); 国家水利部创新资助项目(SCX2002-10)

收稿日期: 2004-05-11; 修订日期: 2004-06-18

作者简介: 陈敏建(1957~), 男, 江西人, 博士, 教授, 主要从事水资源规划与管理、生态水文研究。E-mail: chenmj@iwhr.com

Foundation item: the Ninth Five-year National Key Project (No. 96-912-01-04, 96-912-01-01S); Research program of the Ministry of Water Resources, PCR(No. SCX2002-10)

Received date: 2003-03-15; **Accepted date:** 2004-05-18

Biography: CHEN Min-Jian, Ph. D., Professor, mainly engaged in water resources planning and management, ecological hydrology.

西北地区的自然社会特点决定了生态环境保护是社会经济发展的根本保障。为了有效地保护生态系统的安全,必须满足生态系统对水资源的需求,以此作为水资源合理开发利用的前提条件。为了科学合理地预测生态需水量,必须以经济建设和生态安全为出发点,根据水分条件与生态系统结构的变化机理,使生态系统保持相对稳定和功能的协调,在此基础上建立生态环境保护准则,明确区域保护目标和保护程度。以此为基础,研究有科学依据的生态需水计算方法,从而合理预测未来生态保护与生态建设对水资源的需求。

由于内陆河平原缺少降水,平原植被系统依赖于出山口径流,社会经济用水与生态用水始终处在冲突状态。干旱区水资源消耗分为 3 个部分:社会经济用水,生态用水,以及干旱区特有的盐碱地无效耗水。后者既消耗了宝贵的水资源,又从另一方面造成生态恶化。虽然这部分耗水不可完全避免,但可以通过水资源合理利用,使其尽可能转化为生态用水。因此,科学合理地计算生态需水,成为干旱区经济社会可持续发展的关键问题。

20 世纪 90 年代以来,水资源和生态的相关性研究,特别是生态系统需水量研究成为全球关注的焦点。1996 年,第 1 次出现了生态需水较为完善的概念:提供一定质量和一定数量的水给天然生境,以求最小化地改变天然生态系统的过程,并保护物种多样性和生态整合性。国外针对干旱区生态需水的理论与实践,见之于澳大利亚 Murray-Darling 河流管理委员会规划报告,1996 年提出流域内应当通过协调解决环境需水与国民经济需水的矛盾,并指出单纯依靠立法保护濒临灭绝物种的弊端,同时指出要用先进的计算机技术进行基础分析、系统模拟。几乎在国外深入研究生态需水问题的同时,国内于“九五”攻关项目“西北地区水资源合理配置与生态环境保护研究”项目立项时首次提出生态环境需水这一研究方向,并要求生态需水计算以生态保护准则为依据。

西北水资源攻关总专题对干旱区水资源形成与演变规律、水资源利用、生态环境的现状格局和生态结构关系作了系统的分析与研究,从机理上研究了变化条件下的水资源与生态环境演变趋势。提出了生态圈层结构理论。在此基础上,本文按照水-生态演变机理研究干旱区生态需水。

按平原生态圈层结构,生态需水分为过渡带生态需水,绿洲生态需水;绿洲生态需水又进一步分为天然绿洲生态需水和人工绿洲生态需水。径流是平原绿洲生态需水主要来源,是水资源利用核心。需要对上述圈层结构各组成部分生态需水的水源构成(径流与降水)进行计算。需要在水资源配置研究中明确用水结构:社会经济用水、生态用水和盐碱地用水,并分析其合理性。

1 干旱区生态需水

1.1 干旱区生态需水概念

生态系统是生物群落连同其所在的地理环境所构成的能量、物质转化和循环系统,由 4 个基本组成部分:无机环境;绿色植物;动物;微生物。生态系统的稳定和发展建立在生态平衡的基础上,由能量平衡、物质循环平衡、生物链平衡构成。绿色植物在生态平衡过程中起的作用十分关键,即是生物链的始端,又是能量转化的桥梁,更是无机物变为有机物的纽带。绿色植物光合作用的能量和物质分别来源于太阳光和水。对西北干旱地区来讲,光热、土地丰富,紧缺的是水,因此水在生态系统中起至关重要的作用。

按照生态系统的组成,生态系统的水分包括 3 个部分:作为无机环境组成部分的河湖等地表水体,以及其它赋存于无机环境中的水分;绿色植物的需水;动物饮水。通常,与河湖水体和植物需水相比,动物饮水很少,一般可放在河湖等地表水体中考考虑。因此,具有相互联系的无机环境需水和绿色植被需水就构成了生态系统的需水。生态系统的水分来源包括降雨、地表径流、地下水潜水蒸发等。

干旱地区降水集中在山区,径流性水资源是盆地生态系统的生命源泉。干旱地区进行水资源开发利用时,为了维持生态系统在某种质量水平上的稳定,需要向生态系统不断地提供或预留一定的水量。山区是降水性生态需水。山区生态需水与降水的无效蒸发一起,属于水资源(出山径流)形成前的水分消耗。山区形成的径流几乎是平原地区水资源的唯一来源。

从生态环境和水资源的关系上,区分出生态需水的补给类型意义重大。对于降雨丰沛的山区,生态要素的耗水主要来自降雨,这类地区的生态需水计算对于水土保持用水等具有重要的参考价值。山前平原区的生态系统除受少量降雨补给外,主要消耗的是出山口径流量。而盆地生态系统主要依赖河川径流及其入渗补给的地下水。山区生态、平原人工区和天然绿洲通过水循环上下衔接彼此影响,是一个前后响应、有机联系的整体。

1.2 生态需水分类

根据补给来源,生态需水首先可以分为降水性生态需水和径流性生态需水。在降雨形成径流以及径流运动过程中,地带性植被所在的天然生态系统完全消耗降水量,非地带性植被所在的天然生态系统消耗径流量为主、降水为补充,处于地带性与非地带性的交错过渡带以消耗降水为主、径流为补充。本文关注的是生态系统中径流的作用和地位,根据干旱区降水-径流的特点,径流性生态需水发生在平原。径流性水资源是平原区生态需水的主要来源,是水资源利用的核心,本文所提到的平原区的生态需水(耗水)专指径流性生态需水。

从生态系统形成的原动力可进一步划分天然生态需水和人工生态需水两大类。天然生态需水是指基本不受人工作用的生态所需水量,包括天然水域和天然植被需水;人工生态需水是指人工绿洲内部对社会经济系统起维护支撑作用的生态组成,由人工直接或间接作用维持的生态所需水量,包括受经济用水间接支撑的部分,如田间林网、草地,以及河渠与水库池塘的蒸发等。通过水利工程向生态系统直接供水的部分,如灌溉林草场、渔业、城市景观等提供的人工生态用水量,放在国民经济用水中去研究。

按平原生态圈层结构,分为过渡带生态需水,绿洲生态需水;绿洲生态需水又进一步分为天然绿洲生态需水和人工绿洲生态需水。

由于经济用水量增长,使得生态需水的转化关系日益复杂。首先,经济用水的退水量对生态需水影响大,退水直接成为人工生态需水的主要部分并且加入到天然生态需水中,使得需水来源多元化;其次,经济用水使径流运动范围与强度都发生变化,导致过渡带的径流补给中断,减少了生态需水,尽管这部分生态需水量小,但作用和地位特殊,且特别脆弱,同一数量的生态需水对过渡带和绿洲的生态效应有天壤之别:过渡带退化的幅度往往是人工绿洲增幅的几倍甚至几十倍。

天然绿洲的生态系统主要依靠消耗径流性水资源来维持,这是生态需水研究的重点。天然绿洲生态需水还包括重点生态环境保护目标的生态需水,如大型河湖水面、绿色走廊等。天然绿洲中的盐沼尽管也有水分蒸发和消耗,但没有生物量,不作为生态耗水来计算,而是作为可以节约的潜力部分,在水循环与平衡计算中予以考虑。

2 生态需水分析方法

以流域为单元,进行水资源平衡分析。生态需水分析计算,类似于供需平衡分析。由遥感信息土地利用图上读取各类生态面积单元,从植物生理角度分析生态需水,得到天然植被总腾发量 E_t ,作为植被生态需水总量。各典型天然植被的 E_t 和农作物的 E_t 一样,通过实验资料获得。将植被和水面的总生态需水量扣除有效降水补充的部分,既为径流性生态需水量 GE 。利用各个生态圈层天然生态的 E_t 、有效降水深、生态植被面积、径流性水资源占用深度等进行综合平衡,校验生态需水总量的合理性。

另一方面,以流域为单元进行降水和径流统一考虑的水分综合平衡。首先进行降水量的平衡。山区:将山区降水扣除冰川与

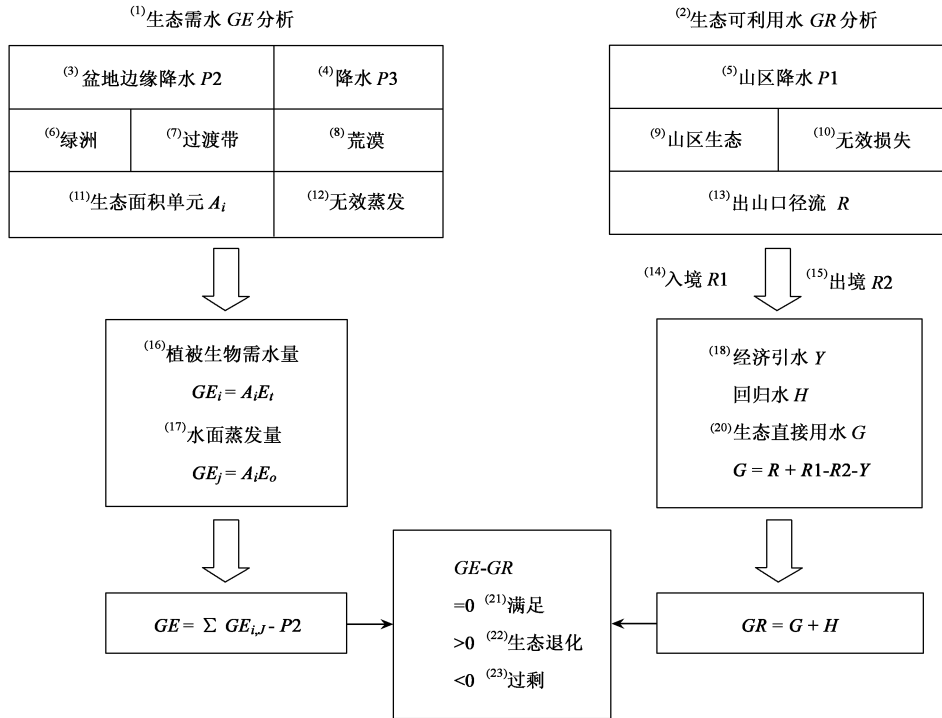


图 1 内陆干旱区生态需水平衡分析

Fig. 1 Analysis of water balance in arid inland area

- (1) Ecological water demand (GE) analysis; (2) Available ecological water supply (GR) analysis; (3) Precipitation in the edge of basin; (4) Precipitation; (5) Precipitation in mountain area; (6) Oasis; (7) Interlaced transition zone; (8) Desert; (9) Ecosystem of the mountain area; (10) Unavailable loss; (11) Ecological area unit; (12) Unavailable evaporation; (13) Runoff from mountain; (14) Influx; (15) Effluent; (16) Ecological water quantity demand of vegetation; (17) Evaporating capacity from water surface; (18) Water consumption of economy; (19) Recession; (20) Direct ecological water consumption; (21) Satisfaction; (22) Ecosystem degeneration; (23) Surplus

裸岩裸地面积上的无效蒸发,同时得到山区生态耗水量(有效降水)和出山口径流量,并将出山口径流加入到平原区进行水平衡分析。平原:将平原原生盐碱地和沙漠戈壁面积上的降水作为无效蒸发,过渡带和绿洲区域的降水作为有效水深,再加入出山口径流,共同进行生态需水分析。其次进行生态可利用水量分析。将出山口径流量 R 加上入境水量 R_1 ,减去出境水量 R_2 ,得到实际径流性水资源总量 $(R+R_1-R_2)$,以此作为平衡分析的总控制量;对绿洲经济用水进行平衡,用总控制量 $(R+R_1-R_2)$ 减去国民经济引水量 Y ,得到天然生态直接用水量 G ,加上国民经济用水后的回归水量 H ,最终得到生态系统可能实际利用的径流性水资源量 GR 。

将生态需水量 GE 与生态系统可能实际利用的水资源量 GR 进行平衡分析:当 $(GE-GR)=0$,生态需水得到满足,维持生态系统的正常功能,此时生态需水即为实际生态耗水;当 $(GE-GR)>0$,表明经济用水条件下生态需水出现缺口,实际生态耗水等于 GR ,将可能导致生态退化;当 $(GE-GR)<0$,生态系统可能实际利用的水资源量过剩,表明流域内盐碱地耗水占用了部分水资源,实际生态耗水等于 GE ,减少盐碱地耗水是节水工作的重要目标。

在进行生态需水预测时,以上述现状生态需水分析为基础,分别以 GE_0 和 GR_0 代表现状,以 EE_0 表示现状实际生态耗水。按以下步骤进行预测:结合国民经济需水预测,计算预测水平年条件下的 GR_1 ,与 EE_0 、 GR_0 进行综合比较并进行情景分析,最终调整 GE_0 ,作为预测水平年的生态需水并对生态面积的变化进行相应预测。

3 生态需水计算

3.1 植被 E_t 分析

天然生态系统,根据其植被群落构成和蒸腾发量,确定其最小水分需求深度与适宜水分需求深度。 E_t 的合理选择关系到计算成果的精度,是进行生态需水分析的依据之一。本项研究收集和分析了迄今为止数量有限的观测实验资料,并且分析了国内外干旱区、特别是中亚地区相关研究成果和经验公式,参考了有关农业灌溉和林草需水 E_t 实验分析资料。以实验数据为基础,经过反复演算分析后,提出了一套符合地区变化规律的 E_t 参考平均值,变化范围在正负 10% 以内(见表 1)。

表 1 西北内陆干旱区各类植被平均 E_t 参考值

Table 1 Referenced E_t of all kinds of vegeration in northwest arid area

区域 Region	林地 Woodland (mm)			草地 Grassland (mm)			河湖水面蒸发 River, lake, Etc.
	有林地 Forestry	灌木林 Shrub	疏林地 Sparse wood	高盖度 High degree of coverage	中盖度 Middle degree of coverage	低盖度 Low degree of coverage	
北疆 North Xinjiang	490	340	285	470	190	115	1000
东疆 East Xinjiang	540	340	270	580	185	70	1200
南疆 South Xinjiang	520	340	280	530	188	90	1150
疏勒河 Shulehe river basin	540	340	270	—	180	65	1200
黑河 Heihe river basin	510	340	280	520	185	74	1100
石羊河 Shiyanghe river basin	440	330	285	430	188	114	900
柴达木盆地 Chaidamu basins	540	340	270	580	180	60	1200

E_t 的地区变化考虑了如下因素:低盖度草(盖度 5% ~ 20%) 远离河流,以降水为主要水分来源,属于不充分给水,降水条件的多寡将使群落的盖度出现系统的自然选择,即降水条件好的地区盖度自然高于降水条件差的地区,因此低盖度草 E_t 取值考虑以降水量为主要参照条件,并且降水条件好的地区 E_t 高于差的地区。中盖度草(盖度 20% ~ 50%) 大部分地区以径流为主要水源、降水作为补充,属于较充分给水,地区差距比较接近。高盖度草(盖度大于 50%) 离河岸最近,属于充分给水,此时气候条件起主导作用,即越是干旱的地区 E_t 越大。林地的 E_t 也大致符合这个规律。

3.2 现状生态需水分析

3.2.1 现状生态需水 全西北干旱区平原总生态需水量 579 亿 m^3 ,包括降水和径流两部分组成。过渡带生态需水以降水为主,天然绿洲生态需水以径流为主,人工绿洲的生态需水几乎完全依靠径流。从地区分布上看,越是干旱的地区生态需水中径流的比重越高,说明生态系统对经济用水的敏感性越强烈,水资源合理配置的任务越艰巨。

现状生态条件下,过渡带、绿洲生态径流性生态需水 380 亿 m^3 ,其中天然生态 329 亿 m^3 ,人工生态 51 亿 m^3 。以新疆的生态需水最多,尤其是南疆生态需水规模较大(见表 2)。

3.2.2 水平衡分析与实际生态耗水 生态耗水计算较复杂,因为与国民经济用水息息相关,需要放在社会经济-生态环境的大系统中进行合理分析。需要通过水平衡计算,结合调查与遥感资料,进行情景分析,正确、合理地计算生态耗水。

现状生态-经济水资源平衡是计算生态耗水的第一次平衡,通过平衡可分析生态可能利用量与生态需水的关系;对生态可能利用量进行二次平衡分析,可进一步确定生态耗水的组成和水资源利用效率。

表 2 西北内陆干旱区生态需水计算结果($\times 10^8 \text{m}^3$)

Table 2 The result of ecological water demand in northwest arid area

区域 Region	平原生态 Plain		过渡带生态 Transition zone		天然绿洲生态 Nature oasis		人工绿洲生态 Manual oasis	
	总量 Total	径流 Runoff	总量 Total	径流 Runoff	总量 Total	径流 Runoff	总量 Total	径流 Runoff
	新疆 All Xinjiang	483.4	316.0	161.1	48.0	272.7	225.0	49.6
北疆 North Xinjiang	212.2	105.6	92.9	15.0	106.8	80.8	12.5	9.8
东疆 East Xinjiang	14.0	10.9	4.6	2.2	8.0	7.3	1.4	1.4
南疆 South Xinjiang	257.1	201.5	63.6	30.8	157.9	136.9	35.6	33.8
河西走廊 All Hexi basins	48.4	28.0	19.6	4.2	22.8	18.9	6.0	5.3
疏勒河 Sulehe basin	11.0	8.0	4.9	2.3	5.0	4.7	1.0	1.0
黑河 Heihe basin	24.9	15.5	8.9	1.7	12.5	10.5	3.6	3.3
石羊河 Shiyanghe basin	12.5	4.9	5.8	0.2	5.3	3.7	1.4	1.0
柴达木盆地 Chadamu basin	47.3	39.0	11.3	5.6	35.2	32.6	0.8	0.8
合计 Total	579.2	379.9	192.1	57.9	330.6	276.5	56.4	51.1

分析结果表明,在现状经济用水水平和管理条件下,内陆河区共有 809 亿 m^3 的径流性水资源可用于经济或生态。其中,有 517 亿 m^3 国民经济引水量,其中有 126 亿 m^3 退水,总的经济用水耗水率达 0.76。直接留给天然生态的水量有 302 亿 m^3 ,加上回归水的间接支持,可供生态系统消耗的水资源达 428 亿 m^3 。从生态需水的角度看,西北干旱区盆地生态系统的需水基本上能得到满足。但各地程度有较大差别(见表 3)。

表 3 西北内陆干旱区现状水平衡分析计算成果($\times 10^8 \text{m}^3$)

Table 3 The result of water balance in northwest arid region

区域 Region	总径流量 Total runoff	出流 Output runoff	入流 Input runoff	难利用量 Inappesable water	可利用总水量 Available water	引水量 Channel water	退水量 Returned water	直接生态用水 Direct ecological water demand	生态可利用量 Available water	生态需水 Ecological water demand
	新疆 All Xinjiang	857.0	239.6	88.1	25.2	680.3	435.5	110.3	244.8	355.1
北疆 North Xinjiang	430.0	227.5	26.1		228.6	165.2	41.4	63.4	104.8	104.7
东疆 East Xinjiang	27.4				27.4	19.1	3.9	8.3	12.2	10.9
南疆 South Xinjiang	399.6	12.1	62.0	25.2	424.3	251.2	65.0	173.1	238.1	200.5
河西走廊 All Hexi basins	81.9				81.9	74.0	13.6	17.4	31.0	28.0
疏勒河 Sulehe basin	22.8				22.8	12.8	4.1	10.0	14.1	8.0
黑河 Heihe basin	41.6				41.6	34.2	7.0	7.4	14.4	15.4
石羊河 Shiyanghe basin	17.5				17.5	27.0	2.5	0.0	2.5	4.6
柴达木盆地 Chadamu basin	46.8				46.8	7.1	2.5	39.7	42.2	35.9
合计 Total	985.7	239.6	88.1	25.2	809.0	516.6	126.4	301.9	428.3	379.9

* 石羊河反复引水,水资源取用率达 155%,因此耗水分析以水资源量 17.5 亿 m^3 为基础

在生态可利用水量的口径内,进一步对西北干旱区盆地水资源的消耗状况进行平衡,计算现状生态耗水。分析表明,全西北干旱区盆地现状社会经济发展水平下,基本上能满足现状生态系统的耗水需求。现状总生态耗水 377 亿 m^3 ,其中人工生态耗水 51 亿 m^3 ,天然生态耗水 326 亿 m^3 。水资源利用率最高的黑河、石羊河两流域,现状生态需水得不到满足,会引起生态退化,共有生态缺水 3.1 亿 m^3 。

南疆、疏勒河、柴达木盆地盐碱地及其它无效流失的水资源较严重,特别是南疆,大量水资源流失,或在塔里木河源流区损失于盐碱地,或在塔里木河中游干流区泛滥流失于河道外,形成盐碱滩,同时造成下游断流,使下游生态濒临灭亡。盐渍化耗水不但浪费水资源,而且破坏自然生态。

从耗水结构来看,包括经济耗水和人工生态耗水在内,53%的水资源消耗在人工绿洲,这还不包括盐碱地耗水。进一步分析人工绿洲内部水资源利用和水循环,可以充分了解国民经济用水效率及其与生态环境保护的关系。西北内陆河区国民经济用水的 76% 消耗在社会经济活动系统内部,包括其中的无效耗水;回归水量占引水量的 24%,反复引水的石羊河流域用水回归率仅 9%。回归水间接支持人工生态系统,并退到天然生态系统中,支持河道、湖泊、天然植被的耗水。回归水量是生态环境用水的重要来源,但是效率不高,在回归水较多的南疆、疏勒河流域存在大量的盐碱地,也证明了这一点(见表 4)。

表 4 西北内陆干旱区现状生态耗水计算成果($\times 10^8\text{m}^3$)

Table 4 Present ecological water using in northwest arid region

区域 Region	总耗水量 Total water used	经济耗水 Economic water used	生态耗水 Ecological water used			盐碱地 Salina invalid used water	生态缺水 Ecological water of shortage
			总生态 Total	人工生态 Artificial ecology	天然生态 Natural ecology		
北疆 North Xinjiang	228.6	123.8	104.7	9.8	94.9	0.1	
东疆 East Xinjiang	27.4	15.2	10.9	1.4	9.5	1.3	
南疆 South Xinjiang	424.3	186.2	200.5	33.8	166.6	37.7	
河西走廊 All Hexi basins	81.9	50.9	24.9	5.3	19.5	6.1	
疏勒河 Sulehe basin	22.8	8.7	8.0	1.0	7.0	6.1	
黑河 Heihe basin	41.6	27.2	14.4	3.3	11.1		1.0
石羊河 Shiyanghe basin	17.5	15.0	2.5	1.0	1.5		2.1
柴达木盆地 Chadamu basins	46.8	4.6	35.9	0.8	35.1	6.3	
合计 Total	809.0	380.7	376.7	51.1	325.7	51.6	

3.3.1 2020 年生态-经济用水平衡分析 以国民经济发展低方案的灌溉面积(包括农田和林草灌溉)预测值为基本控制量。以现有灌溉面积比例为基础,综合考虑人口增长与生活水平的提高,进行相应的配套渠系、农田林网用地以及人居建筑用地(包括交通与城市化用地)预测,通过合理性分析推算总人工绿洲扩大面积。2020 年生态用水和经济用水的综合平衡分析,见表 5。

表 5 2020 年生态-经济水平平衡分析($\times 10^8\text{m}^3$)

Table 5 Balance of ecological-economical used water in 2020

区域 Region	可利用总水量 Total available water	引水量 Channel water	回归水 Returned water	直接生态用水 Direct ecological water used	生态可能利用水量 Ecological available water used	现状生态需水 Present ecological water used	新增灌溉面积 Increased irrigated land(km^2)
新疆 All Xinjiang	742.3	504.4	100.3	237.9	338.2	316.0	13333
北疆 North Xinjiang	290.6	232.0	47.4	58.6	106.0	104.7	9780
东疆 East Xinjiang	27.4	20.6	4.1	6.8	10.9	10.9	233
南疆 South Xinjiang	424.3	251.8	48.8	172.5	221.3	200.5	3320
河西走廊 All Hexi basins	85.0	79.7	15.4	12.2	27.5	28.0	524
疏勒河 Sulehe basin	22.8	19.0	5.4	3.8	9.2	8.0	537
黑河 Heihe basin	41.6	33.2	6.7	8.4	15.0	15.4	-20
石羊河 Shiyanghe basin	20.6	27.5	3.3	0.0	3.3	4.6	7
柴达木盆地 Chadamu basins	46.8	9.3	3.7	37.5	41.2	35.9	133
合计 Total	874.1	593.4	119.4	287.6	406.9	379.9	13990

3.3.2 2020 年生态需水预测 根据 2020 年生态状态情景分析,作出 2020 年生态需水与生态系统结构演变的预测。与现状生态需水分析不同的是,预测生态需水时不存在生态缺水,因为在 20a 内,生态系统已重新调整到较低的水平上建立起新的更为脆弱的平衡。生态缺水将由生态圈层结构的变化来补偿,既这部分长期缺少的生态需水将由生态面积的退化量来代替(见表 6)。

表 6 2020 年生态需水预测表($\times 10^8\text{m}^3$)

Table 6 Ecological water demand prediction in 2020

区域 Region	总耗水量 Total demand water	经济需水 Economical water demand	生态需水 Ecological water demand	人工生态 Artificial ecological water demand	天然生态 Natural ecological water demand	盐碱地 Salina use water
新疆 All Xinjiang	742.3	404.1	322.3	27.4	294.9	15.9
北疆 North Xinjiang	290.6	184.6	106.0	11.0	95.0	
东疆 East Xinjiang	27.4	16.5	10.9	1.4	9.5	
南疆 South Xinjiang	424.3	203.0	205.5	15.0	190.5	15.9
河西走廊 All Hexi basins	85.0	57.5	26.3	5.4	20.9	1.2
疏勒河 Sulehe basin	22.8	13.6	8.0	1.1	6.9	1.2
黑河 Heihe basin	41.6	26.6	15.0	3.3	11.7	
石羊河 Shiyanghe basin	20.6	17.3	3.3	1.0	2.3	
柴达木盆地 Chadamu basins	46.8	5.6	35.9	0.9	35.0	5.3
合计 Total	874.1	467.2	384.5	33.7	350.8	22.4

从现状到 2020 年,新疆的生态环境有较大改善,河西走廊问题较多,柴达木基本保持稳定。总耗水量将增加 65 亿 m^3 ,经济耗水将增加 86 亿 m^3 ,与此同时,生态耗水增加 8 亿 m^3 ,盐碱化耗水减少 29 亿 m^3 (见表 7)。通过分析耗水量的总体变化可以看出,经过 20_a 的生态建设,水资源利用结构趋向合理:人工生态用水在减少,预示着目前田间林网的大量超吸收蒸发在减少;天然生态用水在增加,显示其在现状条件下的水分亏缺得到补偿;盐碱地耗水有相当幅度减少,说明田间用水效率的提高;2020 年仍有 16 亿 m^3 的水进入盐碱地,是为保持灌区水盐平衡进行旱排所致;经济用水的退水率在下降,表明经济用水的总效率在提高,回归水在生态系统中的利用率也将提高。由于水资源利用模式合理,总效率提高,其国民经济承载力和生态环境承载力将随之提高。

2020 年的生态环境改善还有一个非常重要的原因,即北疆成功实现跨流域调水,使天山北坡的生态环境注入了巨大活力。这充分说明了水资源在干旱地区的特殊地位。

表 7 2020 年预期生态状况与现状生态比较($\times 10^8 m^3$)

Table 7 Comparing of ecological state in 2020 and present

区域 Region	总耗水变化 Change of total water used	经济耗水 Change of economic water used	生态耗水 Change of ecological water used	人工生态 Change of artificial ecological water used	天然生态 Change of natural ecological water used	盐碱化 Change of salina water used
新疆 All Xinjiang	62.0	78.9	6.3	- 17.6	23.9	- 23.2
北疆 North Xinjiang	62.0	60.8	1.3	1.2	0.1	- 0.1
东疆 East Xinjiang	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	- 1.3
南疆 South Xinjiang	0.0	16.8	5.0	- 18.8	23.9	- 21.8
河西走廊 All Hex i basins	3.1	6.6	1.4	0.1	1.4	- 4.9
疏勒河 Sulehe basin	0.0	4.9	0.0	0.1	- 0.1	- 4.9
黑河 Heihe basin	0.0	- 0.6	0.6	0.0	0.6	0.0
石羊河 Shiyanghe basin	3.1	2.3	0.8	0.0	0.8	0.0
柴达木盆地 Chadamu basins	0.0	1.0	0.0	0.1	- 0.1	- 1.0
合计 Total	65.1	86.4	7.8	- 17.4	25.1	- 29.2

References:

- [1] Chen M J, Wang H, Wang F. Water-Driven Ecological Evolution Mechanism in Inland Arid Region, *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (10): 2108 ~ 2114.
- [2] Gleick P H. Water in Crisis: Paths to Sustainable Water Use. *Ecological Applications*, 1996, 8(3): 571 ~ 579.
- [3] Tang Q C. The development of oasis and rational utilization of water resources. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1995, 9(3): 107 ~ 112.
- [4] Zhao S Q. *China Physical Geography in Arid Region*. Beijing: Science Press, 1985.
- [5] Hou X Y. *China Vegetation and Geographic Distribution*. Beijing: Science Press, 1992.
- [6] Chen M J, He W CH. Primary Discussion about Chinese Water Resources. *Journal of Natural Resources*, 1998, Supplement.
- [7] China Institute of Water Resources and Hydropower Research. Facing Eco-economic Construction Northwest Reasonable Allocation Mode of Water Resources. *China Water*, 2000, (4).

参考文献:

- [1] 陈敏建,王浩,王芳. 内陆干旱区水分驱动生态演变机理. 生态学报, 2004, 24(10): 2108 ~ 2114.
- [3] 汤奇成. 绿洲的发展与水资源的合理利用. 干旱区资源与环境, 1995, 9(3): 107 ~ 112.
- [4] 赵松乔. 中国干旱区自然地理. 北京: 科学出版社, 1985 .
- [5] 侯学煜. 中国植被及其地理分布. 北京: 科学出版社, 1992.
- [6] 陈敏建, 贺伟程. 中国水资源利用前景初探. 自然资源学报, 1998, 增刊.
- [7] 中国水利水电科学研究院. 面向生态经济建设的西北水资源合理配置模式. 中国水利, 2000, (4).