

海河流域生态需水核算

魏彦昌, 苗 鸿, 欧阳志云, 王效科

(中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室, 北京 100085)

摘要:从生态系统角度分析了生态需水内涵和生态需水与生态用水概念的差别。探讨了海河流域自然陆地、河流、湿地、城市 4 种生态系统类型生态需水核算方法, 并对其生态需水量进行了核算。大气降水首先被天然植被利用后形成地表径流, 才能被人类管理利用来满足经济水量和生态水量需求。从水资源管理来说, 河流、湿地、城市等生态需水来源于径流性水资源可称为狭义生态需水, 而包括利用降水性水资源的天然植被生态需水在内的全部生态系统生态需水可认为是广义的生态需水。狭义生态需水是水资源管理及生态需水研究和关注的重心。研究结果表明: 海河流域河流生态需水 $31.64 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占多年平均天然径流量的 12%; 湿地生态需水为 $34.31 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占 13%; 城市生态需水量 $10.83 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占 4.1%, 3 项合计占径流总量的 29.1%。生态需水量是一个动态的值, 随生态保护目标的提高和经济的发展核算结果必然发生变化, 维护生态环境质量的状况不同, 也存在最大、最小生态需水量的阈值问题, 此类问题需今后进一步研究。

关键词:海河流域; 生态需水; 核算

Primary estimate of ecological water requirement in Haihe Basin

WEI Yan-Chang, MIAO Hong, OUYANG Zhi-Yun, WANG Xiao-Ke (Key Laboratory of System Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2100~2107.

Abstract: Water resources are the base of all life-system on the world. The demand for water from China's growing population is creating an ever-increasing pressure on the country's rivers and other ecosystems. The urgent need for domestic, agricultural and industrial water uses often conflicts with the water demand to maintain or improve ecosystem function. The allocation of water to sustain natural ecosystems, to restore rivers degraded by over-abstraction and to protect ecosystem services has become a key issue in water resource management in our country.

Haihe basin is located in a semi-arid region and, with a mean rainfall of 548 mm, less than the whole country average of 648 mm and the global average of 800 mm. Combinations of socio-economic and political factors, together with a growing population have multiplied the effects on water resource scarcity. Without consider ecological water requirements in water resources management is one of the reason of deterioration of the ecological condition. The challenge therefore, has been to determine ecological water requirements for all the ecosystems. In this paper, the estimate method and total amount of ecological water requirement of four ecosystems were studied, such as natural terrestrial, river, wetland and urban ecosystems.

The precipitation, from atmosphere fall to the earth, first incepted by natural vegetation before producing surface runoff. People can manage the remained water resources to meet the requirement of economic water demand and ecological water demand. Considering water resources management, the ecological water requirement of river, wetland, urban ecosystem which comes from runoff water resources can be defined as narrow sense of ecological water requirement. And natural terrestrial ecosystem ecological water requirement that including precipitation may be called general ecological water requirement. The

基金项目:国家水利部“水利与国民经济协调发展研究”资助项目; 国家自然科学基金资助项目(30230090)

收稿日期:2004-05-11; **修订日期:**2004-06-20

作者简介:魏彦昌(1978~), 男, 河南洛阳人, 博士生, 主要从事生态系统服务功能与水文水资源研究。E-mail: weiyanchang@163.com

Foundation item: Research Program from the Ministry of Water Resources, P R C. (Water Conservancy and National Economic) and National natural science foundation of China (No. 30230090)

Received date: 2004-05-11; **Accepted date:** 2004-06-20

Biography: WEI Yan-Chang, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecosystem services and hydrology and water resources. E-mail: weiyanchang@163.com

narrow sense of ecological water requirement is the key issue of the water resource management and ecological water requirement estimation.

The result showed that: in Haihe Basin the amount of ecological water requirement of river, wetland and urban is $31.64 \times 10^8 \text{m}^3$, $34.31 \times 10^8 \text{m}^3$, $10.83 \times 10^8 \text{m}^3$, respectively, which account for 13%, 4.1%, 29.1% of the annually average natural runoff, respectively. Ecological water requirement is defined as the water regimes needed to sustain the ecological values of ecosystems at low levels of risk. Ecological water provisions are the water that can be maintained or made available in an attempt to meet the ecological water requirements. This pilot study will concentrate on determining the ecological water requirements.

The amount of ecological water requirement is a dynamic value, which strongly depend on ecological protection targets and economic development. A maximal and minimal ecological water requirement can be estimated under different aims of eco-environment quality in future.

Key words: Haihe Basin; ecological water requirement; estimate

文章编号:1000-0933(2004)10-2100-08 中图分类号:Q148, TV213.4, X143 文献标识码:A

水资源是整个地球生命系统的基础。生态环境质量良好的生态系统,可以为人类提供多种生态服务功能^[1]。但由于生态系统服务功能难以直接用经济手段来度量,生态系统的水量需求常被忽视或挤占。在发展中国家,很多人依赖自然生态系统提供的产品及服务来维持生计,如果生态水量的不足将造成生态系统结构和功能的丧失或下降,生态的不可持续性势必影响经济的发展、社会的稳定^[2]。

生态需水是生态学与水文学结合的前沿研究领域^[3,4],而对其核算方法的研究是生态需水研究的基础,也是目前研究中的薄弱环节。Whipple 指出流域内应当协调解决环境需水与国民经济需水的矛盾,并建议用先进的计算机技术进行基础分析和系统模拟^[5]。Thoms 运用生态系统法(Ecosystem approach)对澳大利亚昆士兰州 Condamine-Balonne 流域生态需水进行了分析^[6]。目前采用较多的历史流量评估法、标准设定法、R2CROSS 法也都存在各自的不足之处^[7]。国外发展比较完善的是南非的BBM 法(Building Blocks Methodology)。它以专家研讨会(鱼类、无脊椎动物、河岸植被等方面的生态学专家;地貌学专家;水力学专家;水文学专家等)作为生态需水确定的基础,包括数据采集,数据解译,生态流量设计,情景分析以及最后实施五个阶段^[4,8,9]。由于该方法需要消耗大量的时间及资金,还要求众多领域专家合作以及详尽的水文资料等,在我国实施还有一定难度。1990 年代以来我国学者也对生态需水进行了大量研究^[10~12]。但在研究中还存在较大分歧,生态水量的核算方法还需要有所突破,本文正是基于此目的进行研究。

海河流域是我国华北地区主要流域,也是我国政治、经济、文化中心。其在经济迅速发展过程中,由于生态需水的短缺给生态系统也造成了很大的压力。如森林草地植被的退化,湿地萎缩、河道断流,入海水量锐减,地下水超采加剧,地表水体污染严重等^[13]。因此明确生态需水的重要性,合理配置有限的水资源在海河流域显得尤为重要。

1 研究方法

1.1 生态需水内涵

从生态系统的角度出发,生态需水是指为维护生态系统的特定结构、生态过程和生态系统服务功能的需水量。生态需水的主体为生态系统,其内涵包括维持生态系统结构需水和维持生态过程与生态服务功能的需水^[7]。维持生态系统结构的需水指植被恢复、湿地重建和城市绿地需水等;维持生态过程与生态服务功能的需水指河流输沙排盐、回补地下水、污染物稀释和河流自净需水等。该概念表明不同生态系统的生态需水均有其特定的形成机理,适用于特定的核算方法,必须从具体的生态系统的结构、过程和功能出发对生态需水进行研究,据此得到的计算结果将更接近于实际,并且更易于应用。

在生态需水研究中还应注意区分其与生态用水内涵的差别。基于上述定义生态需水量是指维持一定空间范围健康的生态系统的结构和过程所需要的需水量,也可以看作是理想的生态用水量,需要生态环境保护规划和大量翔实的数据资料来进行推算。而生态用水量则是指生态系统实际利用的水量,它估算的依据是生态系统的现状条件和历史记录。本文核算的是海河流域的生态需水量。

1.2 生态需水核算方法

海河流域不同类型生态系统生态需水的内涵及功能见表 1,下面就研究核算中用到的方法加以阐述。

1.2.1 天然植被生态需水核算方法 天然植被可分森林与草地两种类型来讨论。天然植被的生态需水包括系统的全部输出和截留部分,根据水量平衡,也等于系统的输入水量,即全部输入水量都可以看作生态需水;狭义的生态需水可以只考虑植被的蒸腾需水与蒸发需水^[14]。草地的蒸散需水量核算较简单,森林植物蒸腾和林冠、林下植被、枯落物及土壤的蒸发统称为森林的蒸

散过程。森林的蒸散水量

$$E = E_i + E_v = E_t + E_c + E_l + E_s + E_w$$

(1)

式中, E 为蒸散水量; E_t 为植物蒸腾水量; E_c 、 E_l 、 E_s 、 E_w 分别代表林冠、林下植被、地表枯落物及土壤的蒸发水量。

对于特定流域, 森林生态系统的总蒸腾与蒸发用水量为

$$Q_E = \sum_{i=1}^n 1000 \cdot E_i \cdot S_i$$

(2)

式中, Q_E 表示森林生态系统用于蒸腾和蒸发的蒸散水量(m^3); S_i 表示第 i 种类型森林的面积(km^2); E_i 表示第 i 种类型森林的蒸发散(mm)。

表 1 类型生态需水内涵及功能

Table 1 Ecological water requirement (EWR) connotation and function		
生态系统类型 Type of ecosystem	生态需水类型 Type of ecological water requirement	功能 Function
天然植被生态系统 Natural vegetation ecosystem	植被蒸腾需水 Vegetation transpire	维持植物生理过程 Maintain plant physiology process
	植被及地面蒸发需水 Vegetation and land surface evaporate	维持局部小气候, 保持湿度 Maintain micro climate and humidity
河流生态系统 River ecosystem	蒸发、渗漏需水量 Evaporate and leakage	维持河流系统结构 Maintain river system structure
	河道基础流量需水量 River base flow	维持河流的基本功能 Maintain river base function
湿地生态系统 Wetland ecosystem	湿地蒸发渗漏需水量 Wetland evaporate and leakage	维持湿地基本结构 Maintain wetland basic structure
	湿地生物需水量 Wetland organism	维持湿地生态过程与功能 Maintain wetland ecological process and services
城市生态系统 City ecosystem	城市绿地需水量 Urban greenbelt	休憩、娱乐等景观价值和保持碳氮代谢及生物多样性等服务功能 Maintain ecosystem services such as recreation and amusement, C、N metabolism and biodiversity
	城市水面需水量 Urban water system	

1. 2. 2 河流生态需水核算方法 维护河流生态功能的关键是必须有一个能满足河道环境生态功能的基础流量, 用来保证河流有足够流动的水, 使河流的主要或基本生态功能不致丧失。由水量平衡方程:

$$Q_L = Q_Z + Q_S + Q_V + Q_Q$$

(3)

式中, Q_L 为河流总水量; Q_Z 为河流蒸发损失量; Q_S 为河流渗漏损失量; Q_V 为河道基础流量; Q_Q 为经济取水量。

由于河流在流动过程中蒸发和渗漏是不可避免的, 为了保证河道基础流量, 河道生态需水量应包含这两部分损失。所以, 河流生态系统生态需水量:

$$Q_0 = Q_Z + Q_S + Q_V$$

(4)

式中, Q_0 为生态需水量, 其它同(3)式。河道基础流量的计算可按 Tennant 法^[15]或 7Q10 法^[16]核算, 也可按河道的生态功能进行核算。

1. 2. 3 湿地生态需水核算方法 天然湿地生态需水量的确定可依据湿地的各种生态功能确定最低生态水位, 如白洋淀湿地, 可提供养鱼、水生生物生长以及旅游、划船、水上运动等功能, 可按每种生态功能分别确定相应的生态水位, 综合考虑得到维护生态功能的最低生态水位。根据最低生态水位确定相应的水面和水深, 通过考虑蒸发或渗漏来计算生态需水量。最低生态水位确定公式如下:

$$h = \max\{h_1, h_2, h_3, \dots\}$$

(5)

式中, h 为最小生态水位(m), h_1, h_2, h_3 为湿地不同生态功能所需最小水位(m)。

人工湿地生态需水量可从维持其系统结构来进行核算, 即主要考虑水面蒸发与渗漏需水量, 采用常用的蒸发势和渗漏率方法核算。

1. 2. 4 城市生态系统生态需水核算方法 城市生态需水主要考虑城市绿地与城市水面水量需求。城市绿地生态需水采用面积定额法计算, 计算公式如下:

万方数据

$$Q_L = \Psi F$$

(6)

式中, Q_L 为城市绿地生态需水量(m^3/a); Ψ 为绿地需水定额($\text{m}^3/(\text{a} \cdot \text{m}^2)$); F 为绿化覆盖面积(m^2)。

城市水面生态需水采用水面蒸发需水量计算,计算公式如下:

$$Q_s = (E_i - P_i)S / 1000 \tag{7}$$

式中, Q_s 为城市水面生态需水量(m^3/a); E_i 、 P_i 为*i*城市的蒸发和降雨量(mm/a); S 为城市的水面面积(km^2)。

2 海河流域生态需水核算

本文按照天然植被生态系统、河流生态系统、湿地生态系统、城市生态系统四种生态系统类型,从生态系统的结构、过程与功能核算了海河流域的生态需水量。

2.1 天然植被生态需水核算

海河流域森林和草原生态系统总面积 $6.76 \times 10^4 \text{km}^2$,占流域总面积的 21%。森林生态系统可分为针叶林、阔叶林、小叶林、灌丛矮林等;草原生态系统可分为禾草杂草草原、丛生禾草草原、草甸等。按主要树草种的不同又可分为 17 种植被类型,各类型的分布见图 1。从图中可以看出海河流域大部分面积被农业植被覆盖。全区只有滦河上游森林覆盖较好,其他地区森林呈破碎化分布,95%地区退化为灌丛。

天然植被生态需水量几乎全部来源于天然降水量,或者说径流形成前的水资源量,在实际的水资源分配使用中,并不产生很大的影响。因此在水资源规划中可不予考虑,其生态需水的计算意义只在于为水土保持、人工恢复林的生态需水核算提供依据。资料原因本文仅以森林生态系统为例进行生态需水核算。森林蒸散水量在年内存在动态变化(表 2),全流域森林生态系统年蒸散水量约 $210.9 \times 10^8 \text{m}^3$,即生态需水量为 $210.9 \times 10^8 \text{m}^3$ 。生态需水量占全流域年降水总量 $1224.45 \times 10^8 \text{m}^3$ 的 17.2%,7、8 月份集中了整个生长季约 70%的蒸散水量,与流域的降水高峰期相吻合。

2.2 河流生态需水核算

海河流域包括滦河、海河、徒骇马颊河 3 个水系,河流总长度为 5574km^①。河流生态系统生态需水量为河道基础流量与蒸发量、渗漏量之和。各水系主要河流近 10a(1988~1998 年)最枯

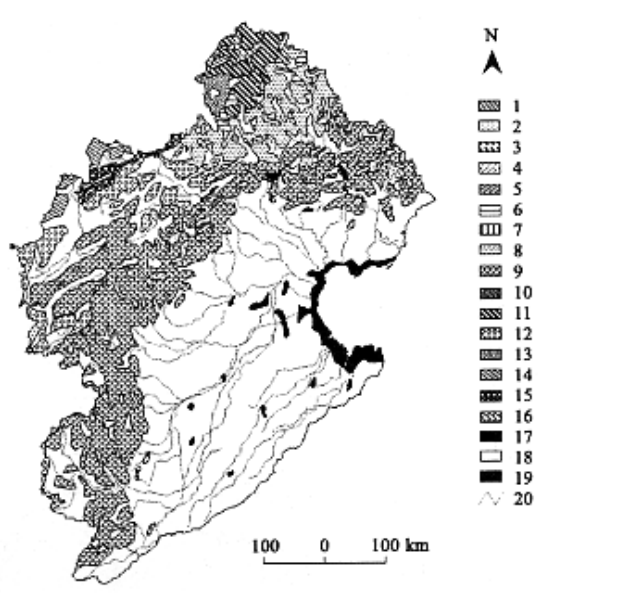


图 1 海河流域生态系统类型分布

Fig. 1 Distribution of ecosystem in Haihe Basin

1. 云杉林 *Picea asperata* Mast.; 2. 松林 *Pinus tabulaeformis*; 3. 侧柏林 *Platycladus orientalis*; 4. 落叶栎林 *Defoliate Quercus* L.; 5. 石灰岩榆科树种、黄连同杂木林 *Ulmus pumila* L. *Pistacia chinensis*; 6. 桦、杨林 *Betula* L., *Populus* sp.; 7. 榆树疏林结合沙生灌丛 *Ulmus pumila* L. and sand-born shrub; 8. 虎榛子、绣线菊灌丛 *Ostryopsis davidiana*, *Spiraea salicifolia*; 9. 荆条灌丛 *Vitex negundo* var. *heterophylla*; 10. 草原沙地锦鸡儿、柳、蒿灌丛 *Caragana sinica*, *Salix* L. *Artemisia*; 11. 羊草草原 Chinese wild rye; 12. 白羊草、黄背草草原 *B. ischaemum*, *T. triandra* var. *japonica*; 13. 大荆茅、克氏针茅草原 *S. grandis*, *Stipa kvyllovii*; 14. 克氏针茅、糙隐子草草原 *Stipa kvyllovii*, *Squarrosa*; 15. 本氏针茅、短花针茅草原 *S. bungeana*, *Stipa breviflora*; 16. 香草、杂类草普通草甸 *Vanilla*, natural grass meadow; 17. 禾草、杂类草盐生草甸 *Sanne soil meadow*; 18. 农业植被 *Agriculture vegetation*; 19. 湖泊 *Lake*; 20. 河流 *River*

表 2 森林植被类型面积及蒸散水量

Table 2 The area and evaporation water requirement of different forest type

植被类型 Vegetation type	面积 Area(km^2)	月蒸散水量 Evaporation water per month($\times 10^8 \text{m}^3/\text{mon.}$)							年蒸散水量 Annual evaporation water($\times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$)
		4	5	6	7	8	9	10	
云杉林 ^①	93.07	—	0.04	0.04	0.16	0.13	0.09	0.04	0.50
油松林 ^②	122.14	—	0.05	0.06	0.21	0.17	0.11	0.05	0.66
侧柏林 ^③	61.71	—	0.03	0.03	0.11	0.09	0.06	0.03	0.33
落叶栎林 ^④	601.55	—	0.25	0.34	0.64	0.87	0.41	—	2.52
落叶阔叶混交林 ^⑤	106.61	—	0.04	0.06	0.14	0.18	0.08	0.02	0.52
桦、杨林 ^⑥	445.53	—	0.18	0.23	0.59	0.76	0.31	0.09	2.16
榆树疏林结合沙生灌丛 ^⑦	11.54	—	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	—	0.07
虎榛子、绣线菊灌丛 ^⑧	8984.06	—	3.99	7.85	19.06	22.03	4.99	—	57.91
荆条灌丛 ^⑨	21263.93	—	9.44	18.59	45.10	52.14	11.80	—	137.067
草原沙地锦鸡儿、柳、蒿灌丛 ^⑩	1416.05	—	0.63	1.24	3.00	3.47	0.79	—	9.13
合计 Total	33106.19		14.66	28.45	69.03	79.87	18.64	0.23	210.88

* ① *Picea asperata* Mast.; ② *Pinus tabulaeformis*; ③ *Platycladus orientalis*; ④ *defoliate Quercus* L.; ⑤ *deciduous and broadleaf mixed forest*; ⑥ *Betula* L., *Populus* sp.; ⑦ *Ulmus pumila* L. and sand-born shrub; ⑧ *Ostryopsis davidiana*, *Spiraea salicifolia*; ⑨ *Vitex negundo* var. *heterophylla*; ⑩ *Caragana sinica*, *Salix* L., *Artemisia*

① 河北省水文水资源勘测局,水利部海河水利委员会.《海河流域水资源基本评价》,2001-06.118~145

月平均流量及河长统计见表 3。根据 7Q10 法核算的河道基础流量为 $16.86\times10^8\text{m}^3$ 。河道蒸发生态需水量直接利用水面蒸发公式,由水面面积乘水面蒸发势求得,河道蒸发生态需水量为 $12.26\times10^8\text{m}^3$,河道渗漏需水量为 $2.53\times10^8\text{m}^3$ (渗漏率按 0.15)。因此,海河流域河流生态需水总量为 $31.64\times10^8\text{m}^3$ 。

表 3 河流生态需水核算

Table 3 The EWR of river ecosystem

水系 Water system	河名 River	站名 Station name	流量 * (m ³ /s) Minimum runoff	河长(km) River length	基础需水量	蒸发需水量	渗漏需水量	生态需水总量
					Basic EWR (×10 ⁸ m ³)	Evaporation EWR(×10 ⁸ m ³)	Seepage EWR (×10 ⁸ m ³)	Total EWR (×10 ⁸ m ³)
滦河 ^①	滦河 ^②	滦县 ^③	18.01	888	5.68	1.95	0.85	8.49
海河 ^④	蓟运河 ^⑤	新防潮闸 ^⑥	0.08	316	0.03	0.70	0.00	0.72
	潮白河 ^⑦	苏庄 ^⑧	0.027	467	0.01	1.03	0.00	1.04
	北运河 ^⑨	通州 ^⑩	6.27	238	1.98	0.52	0.30	2.80
	永定河 ^⑪	官厅水库 ^⑫	9.42	747	2.97	1.64	0.45	5.06
	大清河 ^⑬	西大洋水库 ^⑭	2.16	483	0.68	1.06	0.10	1.85
	子牙河 ^⑮	黄壁庄水库 ^⑯	2.45	748	0.77	1.65	0.12	2.53
	卫河 ^⑰	元村集 ^⑱	8.46	382	2.67	0.84	0.40	3.91
	漳河 ^⑲	观台 ^⑳	5.38	460	1.70	1.01	0.25	2.96
徒骇马颊河 ^㉑	马颊河 ^㉒	大道王闸 ^㉓	0	428	0.00	0.94	0.00	0.94
	徒骇河 ^㉔	堡集闸 ^㉕	1.17	417	0.37	0.92	0.06	1.34
	合计 Total		—	5574	16.86	12.26	2.53	31.64

①Luanhe river; ②Luanhe river; ③Luan county; ④Haihe river; ⑤Jiyun river; ⑥New floodgate; ⑦Chaobai river; ⑧Suzhuang; ⑨Beiyun river; ⑩Tongzhou; ⑪ Yongding river; ⑫ Guanting reservoir; ⑬ Daqing river; ⑭ Xidayang reservoir; ⑮ Ziya river; ⑯ Huangbizhuang reservoir ⑰ Weihe river ⑱ Yuancunji; ⑲ Zhanghe river; ⑳ Guantai; ㉑ Tuhaimajia river; ㉒ Majia river; ㉓ Dadaowang gate; ㉔ Tuhai river; ㉕ Baoji gate

2.3 湿地生态需水核算

海河流域湿地分天然湿地和人工湿地两类。人工湿地(水库)的生态需水按结构性用水核算,即只考虑蒸发与渗漏水量需求。海河流域现有大、中、小型水库 1800 多座,总库容 $285\times10^8\text{m}^3$,大型水库库容 $243\times10^8\text{m}^3$,中小型水库库容 $42\times10^8\text{m}^3$ 。大型水库的死库容及正常水面面积见表 4,小型水库数目众多,相关数据在此不列出。据此核算水库生态需水量为 $16.68\times10^8\text{m}^3$ 。天然湿地主要指湖泊沼泽湿地,面积约为 1488.96km^2 [17]。简单来讲,天然湿地具有渔业生产、芦苇和其他水生生物生产以及旅游等功能,取维持各功能最小生态水位中的最大值即可满足所有生态功能的水量需求。由水位水深确定相应水面面积核算其蒸发与渗漏生态需水量,最后得出海河流域天然湿地生态需水量为 $17.63\times10^8\text{m}^3$ 。海河流域湿地生态需水总量为 $34.31\times10^8\text{m}^3$ (表 5)。

表 4 海河流域大型水库死库容及正常水面面积

Table 4 The minimum capacity of large reservoirs and their normal water area in Haihe Basin

水库名称 ^①	死库容 (×10 ⁸ m ³)	正常水面面积(km ²)	水库名称 ^①	死库容 (×10 ⁸ m ³)	正常水面面积(km ²)	水库名称 ^①	死库容 (×10 ⁸ m ³)	正常水面面积(km ²)
海子水库 Haizi	0.41	640	王快水库 Wangkuai	0.88	40.6	后湾水库 Houwan	0.148	8.25
于桥水库 Yuqiao	0.36	86.8	西大洋水库 Xidayang	0.865	29.2	漳泽水库 Zhangze	0.21	32.3
邱庄水库 Qiuzhuang	0.07	10	龙门水库 Longmen	0.041	6.4	岳城水库 Yuncheng	1.2	41.26
云州水库 Yunzhou	0.04	3.8	安各庄水库 Angezhuang	0.48	13.15	洋河水库 Yanghe	0.1	13.15
密云水库 Miyun	4.37	179.33	岗南水库 Gangnan	3.41	53.5	小南海 Xiaonanhai	0.032	
怀柔水库 Huairou	0.085	9.65	临城水库 Lincheng	0.151	5.22	陡河水库 Douhe	0.055	19.1
册田水库 Cetian	0.174	38.1	东武仕水库 Dongwushi	0.098	17.25	庙宫水库 Miaogong	0.64	8.9
官厅水库 Guanting	6	157.01	朱庄水库 Zhuzhuang	0.34	12	大黑汀水库 Daheiting	1.13	24.8
横山岭水库 Hengshanling	0.23	10.1	潘家口水库 Panjiakou	4.2	65	黄壁庄水库 Huangbizhuang	0.82	63.5

①水库名称 Name of reservoir; 死库容 The minimum capacity; 正常水面面积 Normal water area

2.4 城市生态系统生态需水核算

为明确研究界限,本研究以城市建成区作为城市生态需水量核算基础。据 2000 年流域内各省市统计年鉴统计,海河流域 25 个大中型城市总人口 3415.92 万,为海河流域总人口的 30%;国内生产总值 5170.21 亿元,占海河流域国内生产总值的 55.6%。城市建成区面积 2035.84km²,其中绿化覆盖面积 646.7 km²。

根据(6)、(7)式核算城市生态需水量,绿地需水定额 Ψ 值根据《北京主要行业用水定额》和天津市绿地需水量^[18]来确定。考虑到不同地市的社会经济状况和具体的因素,本文采用 $\Psi=1(\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,北京),或 $0.5(\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,其它地市)。由于许多城市并无明显的城市水面,而且大多城市在进行绿地面积统计时已包含一定的水面面积,因此其水面生态需水量不必单独核算。本文只考虑了北京、天津、唐山、石家庄、邯郸、大同 6 个大城市的水面生态需水,其它城市仅计算绿地生态需水量。据此计算城市绿地需水 $4.32\times10^8\text{m}^3$,水面需水 $6.51\times10^8\text{m}^3$,总需水量 $10.83\times10^8\text{m}^3$ 。

表 6 海河流域 25 个城市生态需水量汇总
Table 6 The total EWR of 25 cities in Haihe Basin

名称 City	绿地需水 Greenbelt EWR ($\times10^8\text{m}^3/\text{a}$)	水面需水 Water system EWR($\times10^8\text{m}^3/\text{a}$)	总量 Total ($\times10^8\text{m}^3/\text{a}$)	名称 City	绿地需水 Greenbelt EWR ($\times10^8\text{m}^3/\text{a}$)	水面需水 Water system EWR($\times10^8\text{m}^3/\text{a}$)	总量 Total ($\times10^8\text{m}^3/\text{a}$)
北京 Beijing	2.19	2.49	4.68	秦皇岛 Qinhuangdao	0.14	—	0.14
天津 Tianjin	0.44	1.63	2.07	阳泉 Yangquan	0.04	—	0.04
唐山 Tangshan	0.22	0.84	1.06	长治 Changzhi	0.02	—	0.02
石家庄 Shijiazhuang	0.17	0.77	0.94	滨州 Bingzhou	0.06	—	0.06
邯郸 Handan	0.13	0.40	0.53	朔州 Shuozhou	0.03	—	0.03
大同 Datong	0.10	0.38	0.48	德州 Dezhou	0.05	—	0.05
聊城 Liaochen	0.04	—	0.04	邢台 Xingtai	0.05	—	0.05
保定 Baoding	0.07	—	0.07	鹤壁 Hebi	0.06	—	0.06
张家口 Zhangjiakou	0.06	—	0.06	濮阳 Puyang	0.03	—	0.03
焦作 Jiaozuo	0.08	—	0.08	沧州 Cangzhou	0.05	—	0.05
安阳 Anyang	0.08	—	0.08	承德 Chengde	0.04	—	0.04
新乡 Xinxiang	0.10	—	0.10	衡水 Hengshui	0.03	—	0.03
廊坊 Langfang	0.04	—	0.04	总计 Total	4.32	6.51	10.83

3 讨论

(1)天然森林、草地等生态系统生态需水属于降水性水资源,而河流、湿地、城市等生态需水属于径流性水资源。从水资源管理来看,大气降水首先被天然植被利用后形成地表径流,才能被人类管理利用来满足经济水量和生态水量需求。从这个意义上讲,可将包括天然植被在内的四类生态系统水量需求称为广义的生态需水;而将不包括天然植被,依靠径流性水资源保证生态需水的其他生态系统水量需求称为狭义生态需水(如图 2)。从水资源管理与水资源分配的角度,狭义生态需水研究与工业需水、农业需水研究相似,是水资源管理的基础。本文在核算河流、湿地、城市生态系统生态需水量的同时也核算了天然植被生态系统的生态水量,主要是基于生态系统的完整性考虑,同时也可为水土保持、人工恢复林的生态需水核算提供依据。

(3)本研究生态需水的核算从生态系统本身出发,以维持生态系统结构和生态系统过程与功能为目的,研究结果能充分反映生态系统的实际需求和生态系统服务功能的完整体现。研究表明海河流域河流生态需水 $31.64\times10^8\text{m}^3$,占多年平均天然径流量 $263.9\times10^8\text{m}^3$ (1956~1984 年系列资料)的 12%;湿地生态需水为 $34.31\times10^8\text{m}^3$,占多年平均水资源总量的 13%;城市生态需水量 $10.83\times10^8\text{m}^3$,占多年平均水资源总量的 4.1%。3 项合计占径流总量的 29.1%。研究结果与同处于干旱地区的黑河流域和辽河流域非常接近^[19,20],这也反映了生态需水量与气候条件的相关性。

(3)水资源供需平衡分析表明:现状海河流域缺水 量 $75.1\times10^8\text{m}^3$,2010 年缺水量达 $99.3\times10^8\text{m}^3$,到 2030 年缺水量将达到

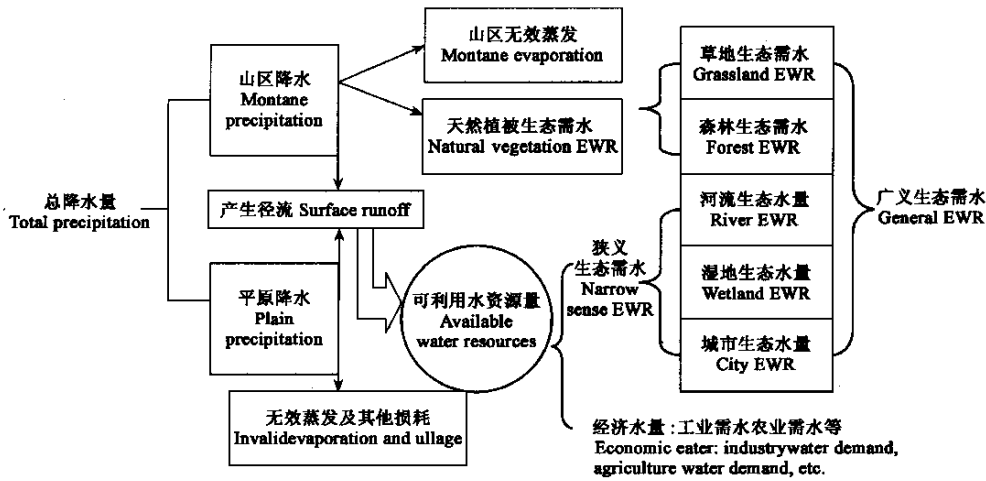


图 2 海河流域水循环及生态需水类型示意图

Fig. 2 The schematic of water cycle and EWR type in Haihe Basin

139.6×10⁸m³①。如考虑生态需水量,海河流域水资源供需矛盾将会更加尖锐。如何协调水资源需求之间的矛盾,达到水资源的可持续发展,实施农业节水、工业节水、跨流域调水是有意义的尝试。但目前这方面工作开展较少,生态需水在水资源分配中仍不能得到有效满足。生态需水量是一个动态的值,随生态保护目标的提高或经济的发展核算结果必然发生变化。另外,维护生态环境质量的状况不同,也存在最大、最小生态需水量的阈值问题。

References:

[1] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(5): 607~613.

[2] Heather MacKay, Brian Moloi. The Importance of Instream Flow Requirements for Decision Making in the Okavango River Basin. www.up.ac.za/academic/libarts/polsci/awiru/opp/papers/dr-h-mackay.pdf.

[3] Gleick P H. Water in Crisis: Paths to Sustainable Water Use. *Ecological Applications*, 1996, **8**(3): 571~579.

[4] Hughes D A. Providing hydrological information and data analysis tools for the determination of ecological instream flow requirements for South African rivers. *Journal of Hydrology*, 2001, **241**: 140~151.

[5] William Jr Whipple, Donald Dubois, Neil S Grigg, et al. A Proposed Approach to Coordination of Water Resources Development and Environmental Regulations. *Journal of the American Water Resources Association*, 1999, **35**(4): 713~716.

[6] Thoms M C, Sheldon F. An ecosystem approach for determining environmental water allocations in Australian dryland river system: the role of geomorphology. *Geomorphology*, 2002, **47**: 153~168.

[7] Miao H, Wei Y C, Jiang L J, et al. Ecological Water Use and the Estimate Method. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(6): 1156~1164.

[8] King J, Louw D. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1998, **1**: 109~124.

[9] Rowntree K, Wadeson R. A geomorphological framework for the assessment of instream flow requirements. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1998, **1**: 125~141.

[10] Li L J, Zheng H X. Environmental and Ecological Water Consumption of River systems in Hai-luanhe Basins. *Acta Geographica Sinica*, 2000, **55**(4): 495~500.

[11] Feng H L, Wang C, Li Y. The research on the ecological water requirement in the watershed. *Advances in Environmental Sciences*, 2000, **1**: 27~30, 37.

[12] Wang F, Liang R J, Yang X L, et al. A study of ecological water requirements in northwest China I. theoretical analysis. *Journal of Natural Resources*, 2002, **17**(1): 1~8.

① 中国水利水电科学研究院, 水利部海河水利委员会. 《海河流域水资源供需平衡分析》, 2001-06. 31~45

[13] Yu F L, Qian J P, Li E Q. *Water resources development and utilization in the Haihe-luanhe basin*. Beijing: Science Press, 1994. 115.

[14] Miao H, Song M, Wang X K, *et al.* Temporal change of environmental water in forest in Haihe Basin. The 2nd IALE Asia-pacific Region Conference: Landscape Change and Human Activity. Lanzhou, China, Sept. 22~25th, 2001.

[15] Tennant DL. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, 1976, **1**(4): 6~10.

[16] Boner M C, Furland L P. Seasonal treatment and variable effluent quality based on assimilative capacity. *Journal Water Pollution Control Filed*, 1982, **54**: 1408~1416.

[17] Lu J J. *China Wetland*. East China Normal University Press, 1990. 37~39.

[18] The management of water use ration. <http://www.shuiziyuan.mwr.gov.cn/shuiguan>.

[19] Yan D H, He Y, Deng W, *et al.* Ecological Water Demand by River System in East Liaohe River Basin. *Journal of soil and Water Conservation*, 2001, **15**(1): 46~49.

[20] Wang G X, Chen G D. Water Demand of Eco-system and Estimate Method in Arid Inland River Basins. *Journal of Desert Research*, 2002, **22**(2): 129~134.

参考文献:

[1] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, **19**(5): 607~613.

[7] 苗鸿,魏彦昌,姜立军,等. 生态用水及其核算方法. *生态学报*, 2003, **23**(6): 1156~1164.

[10] 李丽娟,郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量测算. *地理学报*, 2000, **55**(4): 495~500.

[11] 丰华丽,王超,李勇. 流域生态需水量的研究. *环境科学动态*, 2000, **1**: 27~30, 37.

[12] 王芳,梁瑞驹,杨小柳,等. 中国西北地区生态需水研究(1)干旱半干旱地区生态需水理论分析. *自然资源学报*, 2002, **17**(1): 1~8.

[13] 于凤兰,钱金平,李恩庆. 海滦河水资源及其开发利用. 北京: 科学出版社, 1994. 115.

[17] 陆健健. 中国湿地. 华东师范大学出版社, 1990. 37~39.

[18] 用水定额管理. 中国水利部水资源网. <http://www.shuiziyuan.mwr.gov.cn/shuiguan>.

[19] 严登华,何岩,邓伟,等. 东辽河流域河流系统生态需水研究. *水土保持学报*, 2001, **15**(1): 46~49.

[20] 王根绪,程国栋. 干旱内陆流域生态环境需水量及其估算——以黑河流域为例. *中国沙漠*, 2002, **22**(2): 129~134.

