

松辽流域湿地生态水文结构与需水分析

王立群^{1,*}, 陈敏建², 戴向前³, 丰华丽¹, 王高旭¹, 黄昌硕¹

(1. 南京水利科学研究院, 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210029; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:以我国重要湿地生态区——松辽流域为对象, 对其主要湿地的生态水文结构及生态需水进行分析计算。通过分析湿地水面面积变化与水文连接度的关系确定湿地中心区; 通过分析保持生物完整性的生物场最小范围确定适宜活动区。通过典型研究与水文地区规律分析, 建立无资料地区生态水文结构分析计算经验公式。以湿地生态水文结构(中心区、适宜活动区)为边界条件, 进行地表地下水转化的水量平衡模型分析, 获得湿地生态需水。经过大量分析研究论证, 总体而言, 松辽流域湿地中心区水深占湿地多年平均水深接近 2/3, 中心区面积占湿地多年平均水面面积 40% 左右, 这对控制湿地萎缩及湿地安全管理是一个重要指标。

通过松辽流域湿地近几年的补水实践分析, 发现计算结果基本合理, 研究成果可为湿地的规划管理和安全保障提供科学依据。

关键词:湿地生态水文结构; 生态需水; 计算方法; 松辽流域

文章编号: 1000-0933(2008)06-2894-06 中图分类号: P343, Q147, Q178 文献标识码: A

Analysis on ecological water demand and eco-hydrological configuration of wetlands in Songliao Basin

WANG Li-Qun^{1,*}, CHEN Min-Jian², DAI Xiang-Qian³, FENG Hua-Li¹, WANG Gao-Xu¹, HUANG Chang-Shuo¹

1 State Key Laboratory of Hydrology Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029 China

2 China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China

3 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2894 ~ 2899.

Abstract: The paper analyzes the eco-hydrological configuration of main wetlands in the important wetland ecological region Songliao Basin, and calculates their ecological water demands. The center area of wetland is identified by analyzing the relationship between diminishing ratio of the area and degree of hydrological connectivity; the appropriate activity area of wetland is identified by analyzing the minimum wetland scale to keep the integrality of species. The calculating empirical formula of eco-hydrological configuration in the region without data is built based on the prototype study and analysis of the rules in hydrological area. According to wetland eco-hydrological configuration (center area, appropriate activity area), the water balance model of transformation between surface water and ground water is set up and used to calculate the wetland ecological water demand. The results indicate: in Songliao Basin, the water level of center area accounts for about two-

基金项目:国家十五科技攻关资助项目(2004BA610A-01, 2001BA610A-01)

收稿日期:2007-01-26; **修订日期:**2007-09-17

作者简介:王立群(1980~), 女, 黑龙江人, 博士生, 主要从事水文水资源、生态水文研究. E-mail: lqwang@nhri.cn

Foundation item: The project was financially supported by the Tenth Five-years' National Key Technologies R&D Programme (No. 2004BA610A-01, 2001BA610A-01)

Received date: 2007-01-26; **Accepted date:** 2007-09-17

Biography: WANG Li-Qun, Ph. D. candidate, mainly engaged in hydrology and water resources, ecological hydrology. E-mail: lqwang@nhri.cn

thirds of multi-year mean water level of wetland, its area covers about 40% of multi-year mean area of water surface. This is a very important indicator to prevent shrinkage and protect the ecological security of wetlands.

Compared with the actual supplement water for Xianghai and Zhalong wetlands during recent years, the results are very close to the real ones. Therefore, this research result can be used as an instructive scientific basis for the planning, management and security of Songliao Basin wetlands.

Key Words: wetland eco-hydrological configuration; ecological water demand; calculation method; Songliao Basin

松辽流域水系发育,湿地资源十分丰富。湖泊沼泡湿地众多,这些湖泊大部分分布在第二松花江下游、嫩江下游,以及嫩江支流乌裕尔河、双阳河、洮儿河和霍林河下游松嫩平原的低洼地带以及松花江下游地区,对调节和蓄滞洪水起到了重要作用。松嫩平原腹地发育有我国独特的内陆盐沼湿地(向海、莫莫格、查干湖、大苏布湖等湿地)和淡水沼泽湿地(扎龙湿地),其中,扎龙湿地、向海湿地和莫莫格湿地先后晋升为国家级自然保护区,1993年,扎龙和向海湿地成为我国第一批进入《具有重要国际意义湿地名录》的7个湿地之一。

松辽流域的沼泽湿地资源十分丰富,主要分布在嫩江中下游和三江平原地区。三江平原地处中温带北部,是我国重要的湿地分布区,湿地面积之大,居全国之首,其生态功能极为重要,其中4个国家级湿地自然保护区中有3个(三江湿地、兴凯湖湿地和洪河湿地)被列入《具有重要国际意义湿地名录》。

由于人类活动等因素的影响,松辽流域湿地目前面临的主要问题是湿地面积大幅度萎缩、湿地功能退化。湿地萎缩主要发生在河流出现断流的子流域,如霍林河、洮儿河下游的向海、莫莫格湿地和乌裕尔河、双阳河下游的扎龙湿地等。为保障湿地生态安全,水利部已先后组织当地对扎龙湿地、向海湿地等进行了应急补水。

本文以湿地生态水文结构理论与计算模型^[1~4]为基础,对松辽流域重要湿地进行大规模系统的生态需水研究,以期对松辽流域湿地未来的管理及科学补水等工作提供依据。研究步骤为:(1)对向海、扎龙、查干湖和卧龙湖等典型湿地,借助生态观测和遥感、地理信息系统等技术手段,结合历史资料收集和现场踏勘,确定湿地生态水文结构:湿地中心区和活动区适宜面积;(2)分析其它资料不足湿地(洪河、三江、七星河、兴凯湖、莫莫格、波罗湖)的生态水文结构,将典型湿地模型计算成果概化成经验公式,根据水文相似性原理,对资料不足地区的湿地生态水文结构及其需水进行推求估算;(3)通过水量平衡对湿地生态水文结构模型估算对应的最小生态需水和适宜生态需水。

1 典型湿地生态水文结构分析

1.1 向海湿地

(1) 中心区

向海保护区总面积 105467hm²,其中霍林河流域内 54843hm²,流域外 50624hm²。向海湿地为湖泊型湿地,有尖底泡、付老文泡等自然泡沼 20 多个,其中大香海泡与二场泡于 1971 年建坝,并入引洮(洮儿河)灌溉系统,称为向海水库。向海水库作为保护区内唯一的一座大型蓄水工程,其正常水面面积约 66km²,占整个向海湿地总水面积的 50% 以上,对拦蓄来水、保障湿地的生态环境健康起到了极其重要的作用。

目前,向海水库对湿地的供水并不是天然的过程,而是通过人工控制水库闸门对湿地进行供水,向海湿地已经被人工分成了库区和库区下游湿地两大部分。因此,向海湿地生态水文结构的计算,需分别确定。本研究中,库区采用向海水库的库容曲线资料,通过对向海水库水位、库容、面积的统计资料进行分析,绘出向海水库的水位-面积减小率(面积变化量/库容变化量)关系曲线(图 1),分析确定最小生态水位为 163.5m,相应面积 23.9km²;通过 1:25 万 DEM 数字高程资料和解译的遥感影像资料,对库区下游湿地进行数字高程模拟,通过模拟湿地的淹没过程,获取整个库区下游湿地的地形数据,得到了水位-面积减小率关系曲线(图 2),分析确定最小生态水位为 162.5m,对应水面面积为 26km²。

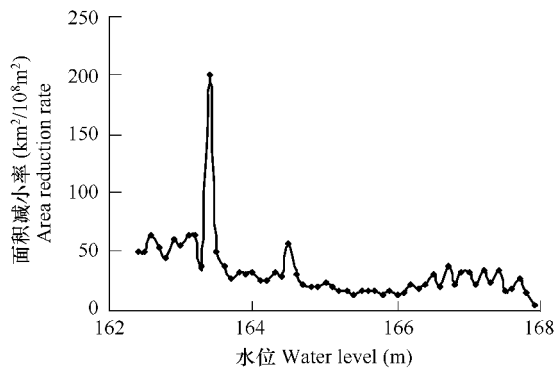


图1 向海湿地库区水位-面积减小率关系

Fig. 1 Relation between diminishing ratio of area and water level of Xianghai Wetland

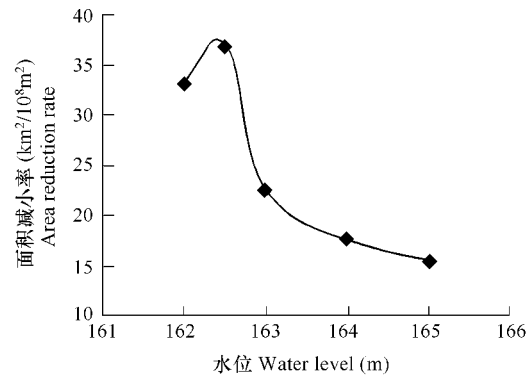


图2 向海库区下游水位-面积减小率关系

Fig. 2 Relation between diminishing ratio of area and downstream water level of Xianghai Wetland

将计算结果与水库多年平均正常蓄水状况进行比较,库区的最小生态水位对应的中心区面积为 23.9 km^2 ,占库区多年平均正常蓄水面积的 36.2% ;库区下游湿地的中心区面积为 26 km^2 ,库区及下游湿地的中心区面积之和占向海湿地多年平均总水面面积的 39.9% 。

(2) 活动区适宜面积

活动区适宜面积的计算采用湿地生态演变过程经验分析方法中的历史分析法。

鹤类是湿地自然综合体中最敏感的“环境气压”或“指示物种”,其数量和分布的变化直接反映了湿地生态环境的改变程度,湿地自然生态环境变化对丹顶鹤的数量分布影响非常显著,因此,通过分析向海湿地近年来鹤类的数量以及生态环境的变化^[5]等,来确定其天然生态结构稳定的临界时期。通过分析,1997年以来向海湿地乃至整个松辽流域的生态环境都发生了重大的变化,经历了破坏—调整—再破坏的一系列改变。1996年是向海湿地发生这一系列巨大变化的前一年。因此,根据历史调查法,确定1996年为向海湿地生态适宜的代表年份。通过对1996年向海湿地土地利用图进行数字化处理,获取了该年份向海湿地的土地面积数据。向海湿地多年平均湖泊水域 1.25 万 hm^2 ,芦苇沼泽 2.36 万 hm^2 。1996年向海湿地河渠、湖泊、水库和芦苇沼泽的总面积为 318 km^2 ,为活动区适宜面积,占多年平均水域和芦苇沼泽面积的 88.1% 。其中湖泊水域面积为 93 km^2 ,占多年平均水域面积的 74.4% 。

1.2 典型湿地生态水文结构计算成果

本文对扎龙、查干湖和卧龙湖湿地生态水文结构也进行了典型分析。中心区计算方法与向海湿地相同;扎龙湿地活动区适宜面积计算也采用了湿地生态演变过程经验分析方法中的历史分析法,查干湖和卧龙湖湿地由于缺乏生物分布资料及历史演变资料,活动区适宜面积的计算采用湿地生态演变过程分析方法中的现状分析方法,即用现状湿地保护区面积近似代替活动区适宜面积,其中水面面积用多年平均水面面积近似代替。计算成果见表1。

2 资料不足湿地生态水文结构分析

2.1 估算方法

资料不足情况下,以资料充足的模型计算成果为依据,对计算成果进行分析概化,根据水文相似性原理推求无资料或资料不足湿地中心区。

一般来说,随着湿地水位的下降,水面面积也会逐渐减小。根据这一原理,将湿地概化成一浅圆锥体,锥体高为湿地的平均水深,锥体表面积为湿地多年平均水面面积。中心区和湿地多年平均水面的大小及分布关系概化如图3。

表 1 典型湿地生态水文结构计算成果

Table 1 Calculating Results of eco-hydrological structure of typical wetlands

湿地 Wetland	中心区 Center area			适宜活动区 Active area	
	水位(m) Water level	面积(km ²) Area	与湿地多年平均水面 面积比例(%) The proportion of central area in multi-annual mean water surface area of wetland	总面积(km ²) Total area of active area	其中水面面积(km ²) Water surface area
向海 Xianghai	库区 163.5 Reservoir region	23.9	39.9	318	93
	下游 162.5 Lower reach	26			
扎龙 Zhalong	141.5	340	45.3	1408	751
查干湖 Chaganhu	129	108	47.3	1632	228.5
卧龙湖 Wolonghu	87.68	22	40.0	64	55

水位、面积是中心区的两个重要衡量指标。湿地多年平均水面面积、平均水深资料一般来说比较容易获得,水位资料比较缺乏。因此对无资料或资料不足湿地的生态水文结构用水深、面积进行分析。以资料充足的模型计算成果建立以多年平均水面估算中心区水面的经验公式,并控制误差在 10% 以内。

2.2 资料不足湿地生态水文结构

利用对向海、扎龙、查干湖和卧龙湖湿地如图 3 进行概化,计算向海、扎龙、查干湖和卧龙湖湿地的 l/L ,分别为 63%、67%、69%、63%。取其算术平均值 66% 近似作为无资料或资料不足湿地中心区水深与多年平均水深的比例。

用 l/L 的估计成果 66% 对向海、扎龙、查干湖及卧龙湖湿地进行计算,将经验公式计算的结果与精确计算结果进行误差分析,误差分析见表 2。

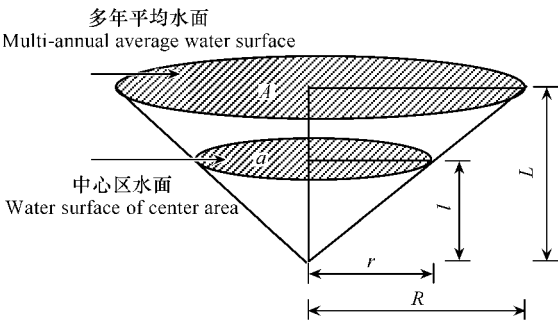


图 3 湿地的概化计算模型

Fig. 3 Simplified calculation model of wetland

①Multi-annual average water surface; ②Water surface of center area

l 、 r 、 a 为中心区平均水深、水面半径、面积; L 、 R 、 A 为湿地多年平均水深、水面半径、多年平均水面面积

表 2 湿地计算成果误差估计表

Table 2 Error estimation of result

湿地 Wetland	估算值 Estimated value		计算值 Calculating value	相对误差 Relative error(%)
	l/L (%)	$\frac{a}{A}$ (%)	$\frac{a}{A}$ (%)	
向海 Xianghai	66	43.06	39.92	7.87
扎龙 Zhalong	66	43.06	45.28	4.90
查干湖 Chaganhu	66	43.06	47.27	8.91
卧龙湖 Wolonghu	66	43.06	40.01	7.62
平均 Average				7.33

可以看出,用中心区水深占多年平均水深比例的估计值 66% 对向海、扎龙、查干湖及卧龙湖湿地的水文生态结构进行估算,中心区面积与多年平均水面面积比的相对误差都在 10% 以内,据此确定经验公式的参数如下:

(1)中心区 将 66%、43% 分别作为松花江流域无资料或资料不足湿地 l/L 、 a/A 的估计值,即约占湿地多年平均水深 2/3 的区域作为湿地的中心区。

(2)活动区 活动区适宜面积用现状湿地保护区面积近似代替,其中水面面积用多年平均水面面积近似代替。

资料不足湿地生态水文结构估算成果见表3。

3 生态需水量估算

(1)向海湿地

向海库区下游的需水主要靠向海水库的放水进行供给,而库区的来水则主要靠上游的霍林河等补给。因此,对向海湿地最小生态需水量的计算,需采取自下而上的过程。首先,计算维持库区下游湿地最小生态需水量,然后将该水量加上水库最小生态需水量,作为维持整个湿地所需要的水量,即库区上游河流对水库的补给量。

根据向海湿地的中心区面积,通过水量平衡来计算维持中心区面积所需要的水量。该水量平衡计算中各水量要素采用多年平均值。以通榆气象站多年(1950~1980年)平均降水量405mm作为整个计算区的年均降水量,向海湿地多年平均蒸发量为1945mm,计算得到为维持中心区水位下的水面面积,用以消耗在水面蒸发所需要的生态需水量每年约7685万 m^3 ,维持适宜活动区水面面积所需要的水量年均均为1.43亿 m^3 。

(2)湿地计算总体成果

松辽流域湿地生态需水计算总体成果见表3。

表3 松辽流域湿地生态需水计算成果表

Table 3 Ecological water demand of wetland in Songhua River and Liaohe River Basin

所在省份 Province	湿地名称 Wetland	湿地生态水文结构 Eco-hydrological structure of typical wetlands				生态需水量 Ecological water demand	
		中心区 Central area		活动区 Active area		最小需水量 Minimum ecological water demand (10^8m^3)	适宜需水量 Appropriate ecological water demand (10^8m^3)
		水位 Water level (m)	面积 Area (km^2)	总面积 Total area (km^2)	水面面积 Water surface area(km^2)		
黑龙江省 Heilongjiang Province	洪河 Honghe	—	51.1	218	118.7	0.297	0.690
	三江 Sanjiang	—	185	1981	430	1.18	2.73
	七星河 Qixinghe	—	5.60	200	13	0.0171	0.398
	扎龙 Zhalong	141.5	340	1408	751	1.06	2.34
	兴凯湖 Xingkaihu	—	小湖 60.3 Small lake	2225	140	0.380	0.882
			大湖 448 Big lake		1040	2.82	6.55
吉林省 Jilin Province	莫莫格 Momoge	—	115	1440	267	1.34	3.12
	波罗湖 Bolohu	—	37.7	170	87.65	0.173	0.403
	查干湖 Chaganhu	129	108	1632	228.5	1.52	3.22
	向海 Xianghai	库区 163.5 Reservoir region	库区 23.9 Reservoir region	318	93	0.368	1.43
		下游 162.5 Lower reach	下游 26 Lower reach			0.400	
辽宁省 Liaoning Province	卧龙湖 Wolonghu	87.68	22	64	55	0.329	0.822

4 结论

(1)本文利用生态水文结构理论和方法,大规模、系统地研究了松辽流域湿地生态需水,系统提出松辽流

域湿地最小生态水面面积。经过大量分析研究论证,总体而言,松辽流域湿地中心区水深占湿地多年平均水深接近 $2/3$,中心区面积占湿地多年平均水面面积的 40% 左右,这对控制湿地萎缩是个重要管理指标,在目前缺少资料情况下更加重要。

(2) 由于资料限制,本文湿地生态需水计算中,中心区通过分析水面面积减少率与水位的关系计算,没有直接应用水文连接度法;适宜活动区采用湿地生态演变过程经验分析法计算。水文连接度的定量描述、湿地生态水文结构计算方法皆有待后续进一步发展,水文连接度方法的提出,旨在抛砖引玉,为湿地生态需水研究提供一个新思路。

(3) 本文提出的两类湿地生态面积,以及相应的生态需水量,基本合理。根据近几年向海及扎龙湿地补水实践,发现,每次补水都是发生在湿地水面面积小于本次研究所提出的湿地中心区(最小生态面积)面积的情景,说明这是客观存在,所提的最小生态面积,机理明确,可操作性强。计算成果可为松辽流域湿地的规划管理和安全保障提供科学依据。

References:

- [1] Chen M J, Wang L Q, Feng H L, *et al.* Theory and Analysis of Wetland's Eco-hydrological Configuration. *Acta Ecologica Sinica*, 2008,28(6): 2887—2893.
- [2] Chen M J. Ecological effect of water cycling and classification of regional ecological demand. *Journal of Hydraulic Engineering Shuili Xuebao*, 2007, 38(3): 282—288.
- [3] Chen M J. Advances in study of ecological water requirement. *China Water Resources*, 2004(20): 25—26.
- [4] Chen M J, Feng H L, Wang P Y, *et al.* Hydro-ecological regional evaluation in SongLiao Basin and analysis of ecological water demand types. *Advances and Study in the Complexity and Uncertainty of Water Problem*, 2004: 76—83.
- [5] Cheng L X, He C G, Zhao J, *et al.* Analysis of effect of wetland ecological environment change in Xianghai nature reserve on number and distribution of Red-crowned Crane. *Journal of Northeast Normal University(Natural Science Edition)*, 2001,33(3): 91—95.

参考文献:

- [1] 陈敏建,王立群,丰华丽,等. 湿地生态水文结构理论与分析. *生态学报*, 2008,28(6): 2887~2893.
- [2] 陈敏建. 水循环生态效应与区域生态需水类型. *水利学报*, 2007,38(3): 282~288.
- [3] 陈敏建. 流域生态需水研究进展. *中国水利*, 2004,20: 25~26.
- [4] 陈敏建,丰华丽,王培英,等. 松辽流域水文生态分区评价及生态需水类型分析,水问题的复杂性与不确定性研究与进展, 2004: 76~83.
- [5] 盛连喜,何春光,赵俊,等. 向海湿地生态环境变化对丹顶鹤数量及其分布的影响分析. *东北师范大学学报(自然科学版)*, 2001,33(3): 91~95.