

鄱阳湖最小生态需水研究*

刘剑宇¹, 张强¹, 孙鹏¹, 顾西辉¹, 方朝阳²

(1. 中山大学水资源与环境系//华南地区水循环与

水安全广东省普通高校重点实验室, 广东广州 510275;

2. 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 江西南昌 330022)

摘要: 基于鄱阳湖水文特征, 建立鄱阳湖最小生态需水计算模型。研究将频率95%对应的水位为湖泊最低生态水位, 根据鄱阳湖水位-面积关系曲线, 得到对应的鄱阳湖湖区面积为1 503.9 km²。通过折算将水面蒸发转换成湖面蒸发, 得到湖面净蒸发量为483.09 mm, 湖区年最小生态耗水为7.3亿 m³。采用计算河道内生态需水的方法计算出湖生态需水, 运用最小月平均流量法、逐月最小流量法、Tennant法、90%保证率最枯月平均流量法和90%保证率逐月流量法等, 对出湖河道生态需水进行计算, 并用Tennant法对结果进行评价, 通过分析比较得出90%保证率逐月流量法更适合确定鄱阳湖出湖最小生态流量, 得到出湖最小生态需水为777.1亿 m³, 最终得到鄱阳湖最小生态需水为784.4亿 m³。研究结果对鄱阳湖流域生态保育、水生态与水环境保护及水资源管理, 提供重要科学依据。

关键词: 鄱阳湖; 最小生态需水; Tennant法

中图分类号: TV882.9; X143 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2014)04-0149-05

Minimum Ecological Water Requirements of the Poyang Lake

LIU Jianyu¹, ZHANG Qiang¹, SUN Peng¹, GU Xihui¹, FANG Chaoyang²

(1. Department of Water Resources and Environment//Key Laboratory of Water Cycle and

Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute,

Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research,

Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

Abstract: Based on hydrological characteristics of the Poyang Lake basin, the model for computation of the minimum ecological water requirement is developed. The water level with frequency of 95% is defined as the minimum water level. The drainage area of the Poyang Lake basin is computed as 1503.9 km² based on the relations between water level and drainage area. The evaporation is decided to compute the lake water surface evaporation and the value is 483.09 mm and the minimum ecological water consumption is 0.73 billion m³. Moreover, methods of the instream ecological water requirements, the minimum monthly average streamflow, monthly minimum streamflow, Tennant method and 90% guaranteed minimum monthly average streamflow are used to compute the minimum ecological water requirement of the outflow from the Poyang Lake basin as 77.71 billion m³ and the minimum ecological water requirement of the Poyang Lake basin is 78.44 billion m³. The results of this study are of great importance for conservation of ecological environment, aquatic ecological envi-

* 收稿日期: 2013-12-06

基金项目: 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室(江西师范大学)开放基金资助项目(ZK2013006); 国家自然科学基金资助项目(41071020); 新世纪优秀人才支持计划资助项目

作者简介: 刘剑宇(1991年生), 男; **研究方向:** 流域生态需水研究; **通讯作者:** 张强; E-mail: zhangq68@mail.sysu.edu.cn

ronment and water resources management within the Poyang Lake basin.

Key words: Poyang Lake; minimum ecological water requirement; tennant

随着社会经济的迅速发展,人类对水资源开发利用强度不断加大。同时,由于水资源配置过程中对生态需水重视程度不足,导致湖泊水体生态需水严重缺乏^[1]。为了保证湖泊生态系统的良性发展,实现生态环境可持续发展目标,必须加强对湖泊生态需水的研究^[2]。国内外学者对生态需水进行了多方研究,但在生态需水的界定方面尚无统一的概念。Gleick^[3]提出基本生态需水的概念,即提供一定数量和质量的给水生态系统,以求最小程度的改变天然生态系统的过程,并保护生物多样性和生态完整性所需要水量。Don Tennant^[4]通过预先确定年平均流量百分数来确定生态环境需水量。宋兰兰等^[5]从生态水分平衡和生物水分生理角度,通过筛选主要水文指数计算生态需水。张强等^[2]从水文变异角度对黄河干流河道内生态需水进行研究。王高旭等^[6]从保护水体存在、水生生物完整性角度,对黄河中下游河道生态需水进行了研究。

本文中的生态需水是指湖泊水体生态需水,防止污染需水、生产生活需水等主要受人类活动的影响,不在本文的研究范围之内。本文生态需水内涵是为维持湖泊水体及下游河道基本生态功能,满足水生生物对生存空间的基本要求,湖泊必须储存和消耗的最小水量。本文从吞吐型湖泊水文特征出发,分别对湖区生态需水、出湖生态需水进行分析计算,得出鄱阳湖最小生态需水总量及其年内分配,以期为合理规划鄱阳湖水资源,保护和恢复湿地生物多样性提供理论依据。

1 研究区概况

鄱阳湖是我国最大的淡水湖和国际重要湿地,位于江西北部的长江中下游南岸,上纳赣、抚、信、饶、修 5 大河之水,经湖盆调蓄,下接长江,是典型的吞吐型湖泊,不仅对长江下游防洪安全有重要意义,同时也是重要的候鸟栖息地,长江 4 大家鱼最重要的产卵场之一和珍稀濒危水生动物保护地^[7]。流域面积为 162 225 hm²,占长江流域面积的 9%,其中江西境内面积为 157 086 hm²,占江西全省面积的 94%^[8]。鄱阳湖属季节性湖泊,水位变化非常显著,丰水期为湖相,枯水期为河相。

研究鄱阳湖生态需水具有重要意义。近年来,鄱阳湖不断萎缩干枯、淤积退化,泥沙淤积,湖床逐渐

抬高,湖区旱涝不断、渔业资源下降、生物多样性减少,鄱阳湖湖区生态环境遭受严重破坏^[9]。为维护鄱阳湖生态系统的动态平衡,保障湖区人类的生存发展,有必要对鄱阳湖生态需水进行研究计算。

2 数据来源与计算方法

2.1 数据来源与处理

本研究选用的蒸发、降雨数据来自江西省气象局,流量、水位数据来自江西省水文局。部分缺失数据通过均值插补方式进行插补。鄱阳湖湖面积广阔,而气象资料尤其是蒸发数据容易受局部小气候的影响,因此用单个气象站数据来计算整个鄱阳湖湖区的蒸发降水显然是不合理的。又湖面蒸发数据较少,而水面蒸发数据丰富,因此可以通过对水面蒸发数据的折算来实现湖面蒸发量求解。本文采用鄱阳湖周边九江、波阳、南昌、庐山 4 站(图 1)的实测气象数据来计算湖面的蒸发量、降水量。由于 $\Phi 20$ cm 蒸发皿蒸发量误差较大,波阳、南昌、庐山 3 站先后增设 E601 型蒸发器,为有效利用长序列 $\Phi 20$ cm 蒸发皿的实测数据,对两种蒸发器共有实测年份的蒸发数据进行相关性分析(相关系数达 0.81 以上),得到 3 站两种蒸发器的

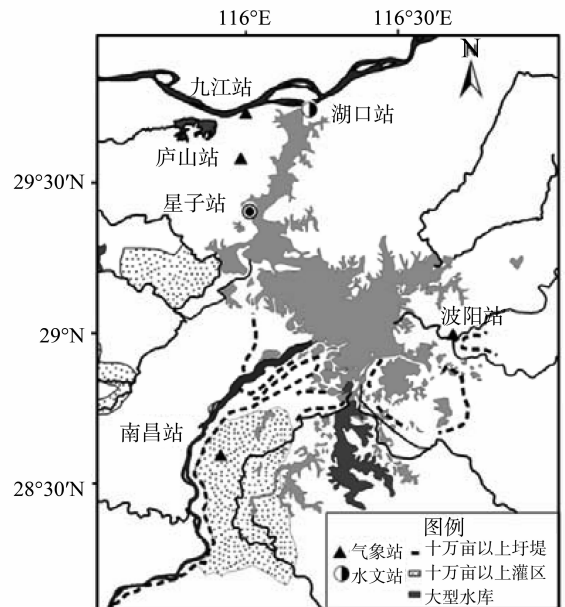


图 1 鄱阳湖主要站点、水库、灌溉区示意图

Fig. 1 Location of the rainfall stations, water reservoirs and irrigated areas within the Poyang Lake basin

折算系数分别为 0.64、0.66、0.61，并将 3 站折算系数的平均作为九江站的折算系数，将 $\Phi 20$ cm 蒸发皿蒸发量折算成 E601，即 $E_{601} = K \times E_{20}$ ，最终得以延长 4 站 E601 型蒸发器的实测数据。

2.2 鄱阳湖最小生态需水计算模型及其计算方法

鄱阳湖作为典型的吞吐型湖泊，其最小生态需水包括入湖最小生态需水、湖区最小生态需水与出湖最小生态需水 3 个部分。如果忽略入湖水量转化为出湖水量的时间差，根据吞吐型湖泊的连续性，湖泊最小生态需水等于入湖最小生态需水等于出湖最小生态需水与湖区最小生态需水之和^[10]。因此，鄱阳湖生态需水可简化成 2 部分：湖区最小生态需水和出湖最小生态需水。湖区最小生态需水由湖区最低生态水位和最小生态耗水组成，最小生态耗水为最低生态水位时湖区蒸发量减降水量加湖泊渗透量。鄱阳湖地下水补给水量和渗透水量，在多年情况下视为平衡，此处不计算湖区渗透量。故湖区最小生态耗水即为净蒸发量。因此，鄱阳湖生态需水的计算模型用公式表达为：

$$W = \sum_{i=1}^{12} [(E(i) - P(i)) \times Fe_{\min} + W_e(i)]$$

其中， $E(i) = E_{601} \times K(i)$

式中， W 为湖区年最小生态耗水， $E(i)$ 为 i 月蒸发量 (m)， $P(i)$ 为 i 月降雨量 (m)， Fe_{\min} 为月最低生态水位相应的湖区面积 (m^2)， $W_e(i)$ 为 i 月出湖最小生态需水， E_{601} 为 E601 型蒸发器的实测水面蒸发量， $K(i)$ 为水面蒸发量与湖面蒸发量折算系数。

湖泊最小生态需水是维持湖泊最低生态水位所需要的水量，在计算湖区最小生态需水前，应首先对湖泊最低生态水位进行计算。由于星子站位于鄱阳湖中段，水位受长江顶托倒灌以及入湖主要干流来水影响较小，其对整个鄱阳湖水位、面积等具有很好的指示作用。因此，将鄱阳湖星子站水位数据作为最低生态水位研究资料，采用年保证率设定法对湖泊最小生态水位进行计算。

由于湖面蒸发受植物等影响，其实际蒸发量与水面蒸发量（即实测）存在一定差异。因此，应该对水面蒸发数据进行折算来计算湖面蒸发量，根据前人的研究成果可知鄱阳湖各月水面蒸发量与湖面蒸发量的折算系数^[11]，再确定湖面蒸发量，进而计算净蒸发量。

出湖最小生态需水是吞吐型湖泊水体更新所需要的水量以及满足下游河道生态需水所需要的水量。在长期的生态演化中，湖泊与其下游河道已成

为一个天然连续体，上下游的生物已经适应了这种连续性，出湖最小生态需水满足湖泊自身最小生态需水，同时也一定满足近距离下游河道最小生态需水要求。而由于湖泊与近距离下游河道的天然连续性，当湖泊近距离下游河道的生态需水得到满足时，湖泊出湖生态需水也就得到满足^[12]。因此，求出湖最小生态需水即为对出湖河道生态需水的计算，河道生态需水的各种计算方法相应也可以运用于出湖生态需水的计算。

3 研究结果

3.1 最低生态水位

选用皮尔逊 III 型曲线对星子站 1951 - 2005 年月均水位序列进行拟合，得到鄱阳湖水位频率曲线 (图 2)，75%、90%、95% 保证率条件下水位分别为 12.78m、12.3m 和 12.03m。在水资源综合规划中，对频率 20%、50%、75%、95% 的水资源进行评价，频率 95% 代表枯水年^[13]。枯水年水位对应的湖面面积是在长期的历史演变中湖泊生态系统已经适应了的最小空间。因此，将频率 95% 对应的水位作为湖泊最低生态水位，得到鄱阳湖最低生态水位为 12.03 m。根据鄱阳湖水位 - 面积关系曲线^[14]，得到鄱阳湖最低生态水位对应的湖泊面积为 1 503.9 km^2 。

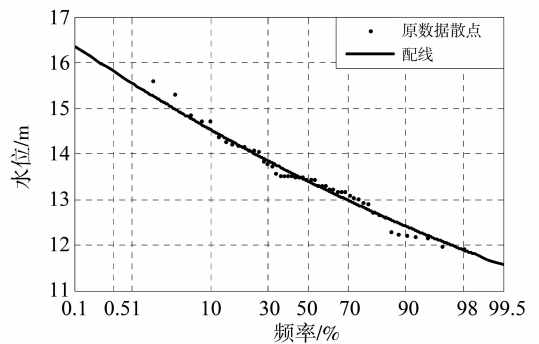


图 2 水位频率计算图

Fig. 2 The frequency calculation of water level

3.2 湖区最小生态耗水

计算湖面净蒸发量需要对蒸发量和降水量进行频率计算。同样采用频率 95% 保证率下年降水量和水面蒸发量来确定各月的水面蒸发量和湖面降水量，并通过将水面蒸发量折算成湖面蒸发量，计算湖面净蒸发量 (表 1)。最后得到湖区最小生态耗水为 7.3 亿 m^3 。

3.3 出湖最小生态需水

计算河道生态需水的方法众多, 由于掌握资料有限, 本文采用最小月平均流量法、逐月最小流量法、Tennant 法^[4]、90% 保证率最枯月平均流量法

和 90% 保证率逐月流量法对出湖河道最小生态需水进行计算, 并用 Tennant 法对结果进行检验, 得到各方法下逐月最小出湖生态流量 (图 3) 与出湖生态需水总量 (表 2)。

表 1 鄱阳湖湖面蒸发量与降水量

Table 1 Evaporation and precipitation of the lake surface of the Poyang Lake

	蒸发量/mm					$K(i)$	降水量/mm					净蒸发量/mm
	南昌	庐山	波阳	九江	平均		南昌	庐山	波阳	九江	平均	
1	85.0	49.9	53.8	45.6	58.6	0.72	8.6	23.8	5.9	15.3	13.4	28.78
2	120.3	64.9	63.4	64.9	78.4	0.81	28.8	23.8	21.3	25.7	24.9	38.60
3	168.7	97.5	108.1	93.9	117.0	0.74	75.7	68.7	55.1	59.8	64.8	21.79
4	196.5	110.5	125.1	94.6	131.7	0.82	84.8	106.9	79.7	86.9	89.6	18.39
5	178.1	92.5	99.5	90.3	115.1	0.98	76.4	115.6	54.7	75.8	80.6	32.16
6	132.9	73.5	72.7	67.5	86.6	1.04	116.8	107.3	78.3	56.4	89.7	0.42
7	119.1	69.1	75.8	57.5	80.4	1.02	38.4	69.7	25.7	18.7	38.1	43.85
8	108.2	67.4	82.8	70.6	82.2	1.07	19.5	35.0	5.7	9.1	17.4	70.65
9	95.4	60.5	60.5	75.5	73.0	1.15	3.1	17.5	3.8	10.0	8.6	75.33
10	85.3	51.8	51.8	62.2	62.8	1.12	5.1	9.1	4.0	10.0	7.0	63.26
11	69.0	39.8	44.6	45.5	49.7	0.94	3.5	9.0	1.2	10.0	5.9	40.80
12	70.2	40.0	51.2	41.1	50.6	0.86	3.6	5.7	1.6	1.0	3.0	40.57
合计	1428.7	817.2	889.1	809.3	986.1	0.9	464.4	592.1	336.9	378.6	443.0	483.09

表 2 各方法下出湖生态需水总量及占年径流量比例

Table 2 Instream ecological water requirements and its percentage of annual streamflow

项目	最小月平均流量法	逐月最小流量法	Tennant 法	90% 保证率最枯月流量法	90% 保证率逐月流量法
生态需水/(10^8 m^3)	356.4	466.2	676.2	185.6	775.3
占多年平均年径流量比/%	22.7	29.7	43.1	11.8	49.4

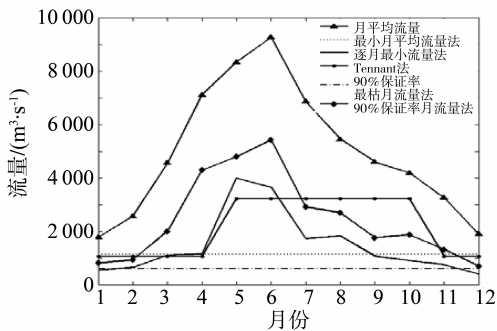


图 3 各方法下出湖生态流量计算结果

Fig. 3 Instream ecological water requirement

由表 2、图 3 可以得出, ① 最小月平均实测法、90% 保证率最枯月平均流量法给出的生态流量各月相同, 不能反映生态需水的月份差异; 所得生态需水总量分别占多年平均径流量的 22.7%、29.7%, 用 Tennant 法检验可知该流量对生态的有利程度较差, 不能满足最小生态需水的要求; ②

Tennant 考虑了丰、枯水期生态需水的差别, 但在部分月份 (如 10 月) 生态需水要求接近实测平均流量, 意味着出湖实际流量经常达不到生态流量要求, 生态需水管理目标难以实现; ③ 逐月最小流量法和 90% 保证率逐月流量法则根据各月的实测流量每月提供一个流量值, 较好的反映了径流随时间变化的特征。但前者用 Tennant 法检测属于中等水平, 而后者属于“非常好”水平, 同时各月的生态流量满足意味着出湖实际流量经常达不到生态流量要求, 生态需水管理目标难以实现; 生态流量目标也容易实现。综合考虑, 90% 保证率逐月流量法为确定出湖生态需水的最佳方法。

因此, 采用 90% 保证率逐月流量法来计算出湖生态需水, 确定鄱阳湖出湖生态需水为 775.5 亿 m^3 , 各月生态流量为 90% 保证率逐月流量法下的生态流量过程 (图 2)。将各月湖区生态耗水量与相应月份出湖生态需水相加, 得到鄱阳湖逐月最小

生态需水(图4),经计算,鄱阳湖年最小生态需水量为784.4亿 m^3 。

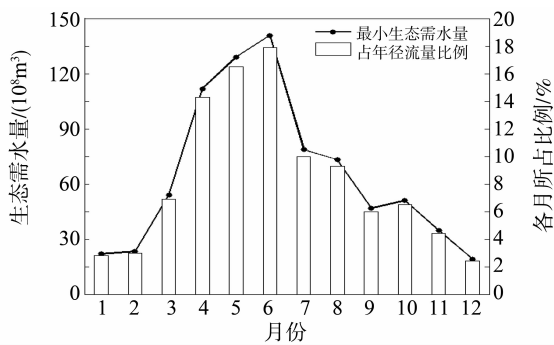


图4 各月最小生态需水及所占比例

Fig. 4 Percentage of monthly ecological streamflow to the annual streamflow

4 结语

鄱阳湖是我国第一大淡水湖,对长江中游生态保育、水生态与水环境等具有重要作用。当前在气候变化与人类活动综合影响下,鄱阳湖的管理与开发问题突显重要,基于对鄱阳湖流域水生态、水环境以及水资源管理的重要性,本文系统研究了鄱阳湖流域的最小生态需水问题,以为鄱阳湖流域的生态保育和水资源管理提供科学依据通过上述系统分析,得出以下重要结论:

1) 根据吞吐型湖泊的水文特征和鄱阳湖的实际情况,建立了鄱阳湖最小生态需水计算模型。鄱阳湖最小生态需水由湖区最小生态耗水和出湖最小生态需水构成。其中湖区最小生态耗水即为湖面净蒸发量。

2) 采用年保证率设定法对鄱阳湖最小生态水位进行计算,得到最小生态水位为12.03 m,对应湖面面积为1 503.9 km²。通过对水面蒸发量折算,得到湖面净蒸发量为483.09 mm,湖区年最小生态耗水为7.3亿 m^3 。

3) 分析认为采用河道生态需水的计算方法来计算鄱阳湖出湖生态需水是可行的。通过与其它方法的比较,90%保证率逐月流量法更适合确定鄱阳湖出湖生态需水,得到出湖最小生态需水为777.1亿 m^3 ,用Tennant法检测属于“非常好”水平,

且能反映各月份的变化规律。最终得到鄱阳湖年最小生态需水为784.4亿 m^3 。

由于湖泊生态需水的基本概念、研究理论、计算方法有待进一步研究,本文对鄱阳湖最小生态需水的分析计算只是对湖泊水体生态需水的初步估算值,并没有考虑到受人类活动影响的生产生活、防止污染等方面的需水。

参考文献:

- [1] 徐志侠,王浩,董增川,等. 河道与湖泊生态需水理论与实践[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [2] 张强,李剑锋,陈晓宏,等. 水文变异下的黄河流域生态流量[J]. 生态学报,2011,17: 4826-4834.
- [3] GLEICK P H. Water in crisis: path to sustainable water use [J]. Ecological Applications, 1996, 8(3): 571-579.
- [4] TENNANT D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources[J]. American Fisheries Society, 1976(1): 6-10.
- [5] 宋兰兰,陆桂华. 水文指数法确定河流生态需水[J]. 水利学报,2006,37(11): 1336-1341.
- [6] 王高旭,陈敏建,丰华丽,等. 黄河中下游河道生态需水研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2009(5): 125-130.
- [7] 赵其国,黄国勤,钱海燕. 鄱阳湖生态环境与可持续发展[J]. 土壤学报,2007(2): 318-326.
- [8] 《鄱阳湖研究》编委会. 鄱阳湖研究[M]. 上海:上海科学技术出版社,1988.
- [9] 黄虹,邹长伟,何宗键,等. 鄱阳湖水文承载力现状和趋势分析[J]. 中山大学学报:自然科学版,2003(S1):161-163.
- [10] 徐志侠,王浩,唐克旺,等. 吞吐型湖泊最小生态需水研究[J]. 资源科学,2005(3): 140-144.
- [11] 闵騫. 鄱阳湖水面蒸发量的确定[J]. 人民长江,1998(5): 30-328.
- [12] 徐志侠. 河道与湖泊生态需水研究[D]. 南京:河海大学,2005.
- [13] 徐志侠,王浩,董增川,等. 南四湖湖区最小生态需水研究[J]. 水利学报,2006(7):784-788.
- [14] 雷声,张秀平,许新发. 基于遥感技术的鄱阳湖水体面积及容积动态监测与分析[J]. 水利水电技术,2010(11):83-86,90.