

## 博斯腾湖最低生态水位计算\*

李新虎, 宋郁东, 张奋东, 叶茂

(中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**近些年来,由于人类活动的影响,湖泊普遍出现了萎缩、水位下降、水量锐减、水质污染等问题,研究湖泊最低生态水位,确保湖泊所必须的最小水量,对于解决我国湖泊生态退化问题具有重要意义.本文提出综合指标法来计算湖泊最低生态水位.根据博斯腾湖具体情况选取天然水位资料、湖泊形态和芦苇3种指标为依据分别计算博斯腾湖的最低生态水位,计算结果分别为1047.06 m, 1047.41 m和1047.20 m,然后通过综合分析以上这3种指标所占权重,进行加权计算,最终确定博斯腾湖最低生态水位为1047.16 m,通过分析表明1047.16 m作为博斯腾湖最低生态水位是合理的,综合指标法作为湖泊最低生态水位的计算方法切实可行.

**关键词:**博斯腾湖;最低生态水位;综合指标法

### The calculation of the lowest ecological water level of Lake Bosten

LI Xinhu, SONG Yudong, ZAHNG Fendong & YE Mao

(Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS Urumqi 830011, P. R. China)

**Abstract:** This paper put forward the composite index method to calculate the lowest ecological water level and select 3 index, that is natural water level date, the lake morphology, reed to calculate the lowest ecological level according to the circs of Lake Bosten. The result are 1047.06m, 1047.41m, 1047.20m, respectively. According to every factor contribution to the lowest ecological level, the weighting coefficient of every factor was considered. The final result show that the only when the water level is high than 1047.16m can the ecosystem structure be guaranteed, and the normal ecosystem function be fully played, the bio-diversity and the ecosystem integrity be maintained. Therefore, it is reasonable that the 1047.16m as the lowest ecological water level.

**Keywords:** Lake Bosten; the lowest ecological water level; Lake composite index method

湖泊是地表水资源的重要组成部分,是湖泊流域地区经济持续发展和人们赖以生存的基础<sup>[1]</sup>. 面对我国湖泊不断干枯、萎缩的生态危机和由此造成资源性缺水的严重局面,维护湖泊的合理水位已经成为淡水资源科学配置和永续利用的基本保证<sup>[2]</sup>,因此,研究湖泊生态水位具有重要意义. Baird等<sup>[3]</sup>针对湖泊的基本结构和功能,较详细地分析了植物和水文过程的相互关系,强调了水作为环境因子对自然保护和恢复所起到的重要作用. Rashin等<sup>[4]</sup>提出,为了保证水资源的可持续利用,首先应满足湖泊生态系统对水量的需求,但作者并没有给出明确的概念和计算方法. Ngana<sup>[5]</sup>等提出保证一定水量来维持湖泊生态系统的需要,就是为了保证社会经济和生态环境协调发展. David<sup>[6]</sup>等认为,如果湖泊水量低于某一个量时,将会导致生态系统结构的破坏及功能的丧失,为了最大程度地实现湖泊的生态价值,必须满足它本身所需的水量.

最低生态水位是生态水位的下限值,低于此值生态系统就会遭到严重破坏. 目前我国对湖泊最低生态水位的研究尚处于起步阶段,对于湖泊最低生态水位公开发表的研究实例较少. 本文根据博斯腾湖具体情况,提出综合指标法,以天然水位资料、湖泊形态、芦苇3种指标分别计算博斯腾湖的最低生态水位,最后根据这些指标在计算博斯腾湖最低生态水位中所占的权重,进行加权计算,确定博斯腾湖的最低生态水位.

\* 国家重点基础研究发展规划“973”项目(G1999043506)、国家自然科学基金(40471020)、中国科学院知识创新工程重要项目(KZX3-SW-342-03)联合资助. 2006-03-20收稿;2006-09-24收修改稿. 李新虎,男,1981年生,硕士研究生; E-mail:lixinhu721@163.com.

## 1 研究区基本情况

博斯腾湖(以下简称博湖),位于新疆焉耆盆地东南,古称西海,又名“巴格拉什湖”。博斯腾一词系维吾尔语绿洲之意。博湖由大湖、小湖群、苇沼三部分组成。湖泊总集水面积约  $4.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,流域地表水资源量  $40 \times 10^8 \text{ m}^3$  [7]。大湖长 61 km,最大宽度约 35 km,平均宽度 16 km,平均水面面积  $972 \text{ km}^2$ ,平均水深 7.5 m,最大水深 19 m,周长 220 km,十余个小湖中的多数分布在大湖西南的苇沼区,湖间有水道相连,总水面面积约  $35 \text{ km}^2$ ;还有几个分布在大湖南北近岸,总面积约  $10 \text{ km}^2$ ,小湖水深 2-6 m,总容积约  $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;苇沼地主要分布在大湖西南及西北角,生长着芦苇,总面积约  $350 \text{ km}^2$ 。

博斯腾湖既是开都河的尾间,又是孔雀河的源头,兼有开都河来水的水资源调控、孔雀河流域农田灌溉、工业及城乡用水、流域生态保护等多种功能 [8]。在水资源十分珍贵的新疆南部地区,有着十分重要的地位。

经过近 50 年的流域和湖区大规模开发,博斯腾湖在发挥巨大生态、环境、经济和社会效益的同时,环境问题也日趋严重 [8],2000 年又开始向塔里木河下游输水,由此带来的问题是塔里木河输水量如何确定,博斯腾湖的水位应该维持在多少合适,所以,研究博斯腾湖的最低生态水位具有重要意义。

## 2 湖泊最低生态水位概述

生态水位是维护生态系统正常运行的合理水位,它有一个区间范围(包括最低生态水位、适宜生态水位等)。最低生态水位是生态水位的下限值,湖泊若低于此生态水位运行,水体体积就会相对变小,就可能产生矿化度及污染物浓度升高、污染加剧、鱼类大量死亡、农田土质恶化、盐渍化加重、植被大量死亡、湿地面积减小和生物多样性遭到破坏等影响,不仅会对生态环境产生严重的破坏,而且也会威胁到上游和下游的生产生活和自身的发展。

我国对湖泊生态水位的研究并不多。徐志侠在研究吞吐型湖泊时将湖区最低生态水位定义为维持湖泊生态系统不严重退化所需的最低水位 [2]。崔保山 [1] 认为湖泊最低生态水位是指为保证特定发展阶段的湖泊生态系统结构稳定与功能正常发挥并保护生物多样性所需的最低生态水位。

笔者通过分析博斯腾湖的具体情况认为,湖泊最低生态水位是维护生物多样性和生态系统完整性、不对生态环境及自身造成严重破坏的最低运行水位。维持生态水位不仅要维持一定的水位,而且也要保证一定的水质。

## 3 计算

### 3.1 综合指标法

关于最低生态水位的计算,有最低年平均水位法 [9],年保证率法 [10]、湖泊形态法 [2]、天然水位资料法 [2]、功能法 [1] 等,这些方法都是以某一种指标或目标为依据进行计算,针对性很强,但却乏综合性,而且不同的方法其计算结果也不相同 [9,10],很难确定最终结果,因此,本文在以上方法的基础上,综合考虑各影响因素,提出综合指标法。

由于近些年来,人类活动的加剧,我国大部分湖泊都面临着诸如水资源缺乏、洪水、水质恶化、生态环境退化等多方面问题,而且由于湖泊特性的差异,所面临的问题及问题的严重性也不相同,有的湖泊水质富营养化问题严重,如北京六海 [11],有的湖泊矿化度问题突出,如博斯腾湖 [12],有的湖泊矿化度和湖面面积萎缩问题都很严重,如新疆的艾比湖 [13]。所以要维持湖泊合理的最低生态水位,保证湖泊可持续利用,应该考虑多方面因素。据此,提出湖泊最低生态水位计算方法,综合指标法。公式如下:

$$H_{\min} = \lambda_1 H_1 + \lambda_2 H_2 + \lambda_3 H_3 + \cdots + \lambda_n H_n \quad (1)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \cdots + \lambda_n = 1 \quad (2)$$

式中,  $H_{\min}$  为博斯腾湖最低生态水位,  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \cdots \lambda_n$  为分别为各种指标所占权重,  $H_1, H_2, H_3, H_4 \cdots H_n$  为依据各种指标所计算的结果。

指标可根据湖泊的特点来确定,对于大部分湖泊一般都可以以植被、水生物、湖泊形态等为指标来计

算,然后根据各种指标在该湖泊中所占的影响程度和关系等角度来确定权重,方法可采用专家打分法。

### 3.2 博斯腾湖最低生态水位计算

博斯腾湖原系我国最大的淡水湖,湖周围生长芦苇,20世纪60年代初期位居我国四大苇区之首<sup>[7]</sup>,而且灌溉着整个库尔勒和尉犁地区,但是由于人类影响,博斯腾湖面临着水资源缺少、洪水、水质和生态环境退化等问题,所以根据博斯腾湖具体情况选取天然水位资料、湖泊形态、芦苇3种主要指标分别进行计算,最后根据指标在计算博斯腾湖最低生态水位所占的权重去确定最后的结果。

3.2.1 以天然水位资料为指标 根据徐志侠的研究<sup>[2]</sup>,天然情况下,湖泊水位发生着年际和年内的变化,对生态系统产生着扰动,这种扰动往往是非常剧烈的。然而,在长期的生态演变中,湖泊生态系统已经适应了这样的扰动,天然情况下的低水位对生态系统的干扰在生态系统的弹性范围内,因此,可将天然情况下湖泊多年最低水位作为最低生态水位。湖泊最低生态水位表达式如下:

$$Z_{emin} = \text{Min}(Z_{min1}, Z_{min2}, Z_{mini} \dots, Z_{minn}) \quad (3)$$

式中: $Z_{emin}$ 为湖泊最低生态水位(m); $\text{Min}()$ 为取最小值的函数; $Z_{mini}$ 为第*i*年最小月平均水位(m); $n$ 为统计的水位资料年数。

由1956年起的博斯腾湖的观测资料和高华中<sup>[14]</sup>的研究可知,博斯腾湖在1970年之前人为干扰相对较少,可近似认为1956—1970年的水文资料为天然水文资料<sup>[15]</sup>,虽然只有15年的系列,但是资料表明在这期间先后交替出现了丰水年、平水年、枯水年,在这15年系列中水位变化大,自然扰动剧烈,所以选取1956—1970年的水文资料具有代表性(图1)。

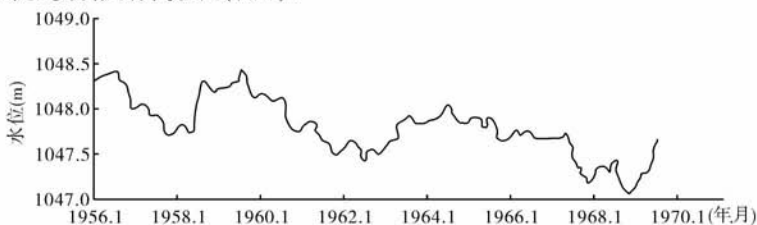


图1 1956—1970年月平均水位变化曲线

Fig. 1 Fluctuation of the average monthly lake water level for Lake Bosten during the period of 1956—1970

根据1956—1970年博斯腾湖水文站资料<sup>①</sup>可以得出最低月水位出现在1968年11月,月平均水位为1047.06 m。即  $H_1 = 1047.06$  m

3.2.2 以湖泊形态为指标 地形为湖泊的存在提供了支撑,为水文循环提供了舞台,同时,又对水文循环产生着制约。湖泊中的生物适应着水文与湖床形态,水与湖床构成的空间是生物赖以生存的栖息地,是生物生存的最基本的条件<sup>[2]</sup>。因此,水文和湖泊地形构成了湖泊最基础的部分。

用湖泊库容作为湖泊水文和地形子系统特征的指标,用湖面面积作为湖泊功能指标。随着湖泊面积减少,湖泊库容也随之减少,由于湖泊库容和面积之间为非线性关系。当库容不同时,湖泊库容每减少一个单位,湖面面积的减少量是不同的。

湖面库容变化率为湖泊水位与面积关系函数的一阶导数。在此关系线上,库容变化率有一个最大值。此最大值相应水位就是最低生态水位。

用下式表达:

$$L = f(M) \quad (4)$$

$$\frac{d^2L}{dM^2} = 0 \quad (5)$$

$$H = f(M) \quad (6)$$

式中: $L$ 为湖泊库容( $10^8 \text{ m}^3$ ), $M$ 湖泊面积( $\text{km}^2$ ), $H$ 为湖泊水位(m)。求解式(4)(5)(6)即可得到湖泊最

① 中华人民共和国水文年鉴内陆河湖水文资料(1956—1969)。

低生态水位.

博斯腾湖大湖湖盆呈深碟状,中间底平,靠近湖岸急剧变浅.根据2001年率定的湖泊水位-面积-库容关系曲线<sup>[7]</sup>,建立湖泊库容和面积的相应关系曲线.

$$L = 3 \times 10^{-8} M^3 - 1 \times 10^{-6} M^2 + 0.0043M + 0.3695 \quad (R^2 = 0.9999) \quad (7)$$

由博斯腾湖水位和面积关系拟合公式:

$$H = -3.344 \times 10^{-6} M^2 + 0.0174M + 1032.3 \quad (R^2 = 0.9996) \quad (8)$$

求解(3)(7)(8)式得:最低生态水位为  $H_2 = 1047.41\text{m}$ .

3.2.3 以芦苇为指标 根据崔保山<sup>[11]</sup>提出的曲线相关法原理,水是生物体的组成成分,并直接参与新陈代谢过程,而生物对水量具有适应性,当水量发生较大变化时,将会对生物数量和分布产生影响.由此可知,湖泊水量与湖泊生态系统功能之间具有内在的相关性.

在确定湖泊最小生态水位时,根据不同类型的湖泊,确定湖泊水位变化影响最敏感的生态指标,建立水量和生态指标的相关曲线,在关系曲线上都有拐点,此拐点对应的值,水位对该功能指标变化最显著,超过此值该生态指标严重退化.

博斯腾湖周围湿地盛长芦苇,是我国著名的芦苇产地,博斯腾湖芦苇不仅产量高,而且质地优良,属全国最优品种<sup>[7]</sup>,芦苇的面积和产量不仅关系到生态环境问题,而且对经济的发展也有一定的影响,所以用芦苇作为博斯腾湖的生态指标非常有实际意义.

采用1987年至2000年的观测资料<sup>[7]</sup>,建立湖泊库容和芦苇面积的关系曲线拟和公式:

$$y = -0.4054x^3 + 94.27x^2 - 7055.7x + 201826 \quad R^2 = 0.9563 \quad (9)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 0 \quad (10)$$

式中, $y$ 为芦苇面积( $667\text{hm}^2$ ), $x$ 为库容( $10^8\text{m}^3$ ).

求解(9)(10)式得: $x = 77.5119 \times 10^8\text{m}^3$ .代入库容水位关系式:

$$y = -0.0003x^2 + 0.1381x + 1038.3 \quad (R^2 = 0.9747) \quad (11)$$

式中: $y$ 为水位, $x$ 为库容.计算结果为: $H_3 = 1047.20\text{m}$ .

3.2.5 权重的确定 博斯腾湖的最低生态水位计算结果分别是1047.06 m,1047.41 m,1047.20 m,不同指标所得到的最低生态水位结果不相同,最小的相差0.14,最大的相差达0.35,这是由于在计算博斯腾湖最低生态水位时,所依据的指标不同所至,根据博斯腾湖的具体情况,根据这4种指标采用专家打分法确定它们的权重.

根据多年研究博斯腾湖的生态学和文学的多位专家的打分,结果见表1.

表1 博斯腾湖指标的权重  $\lambda$   
Tab.1 The weight of index in Lake Bosten

天然水位资料( $\lambda_1$ )	湖泊形态( $\lambda_2$ )	芦苇( $\lambda_3$ )
0.40	0.15	0.25

### 3.3 结果

根据综合指标法计算公式:

$$H_{\min} = \lambda_1 H_1 + \lambda_2 H_2 + \lambda_3 H_3 + \lambda_4 H_4 \quad (12)$$

式中, $H_{\min}$ 为博斯腾湖最低生态水位, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 为分别为4种指标所占权重, $H_1, H_2, H_3, H_4$ 为4种指标所计算的结果.

将表1中的数据和依据各指标计算的结果带入公式中,得  $H_{\min} = 1047.16\text{m}$ .

## 4 结论与讨论

(1)本文以天然水位资料、湖泊形态、芦苇为指标分别计算了博斯腾湖的最低生态水位,经过权重分析

计算, 结果为 1047.16 m. 根据左其亭等的<sup>[7,16]</sup>研究, 博斯腾湖的死库容水位为 1045.5 m, 正常蓄水水位是 1047.5 m, 此水位范围在死库容和正常蓄水水位之间, 而且根据博斯腾湖总体情况和历史资料来看, 年平均水位低于 1047.16 m (1979 - 1996 年), 库容急剧减少, 矿化度升高, 鱼类产量也开始减少, 生态环境破坏严重, 由此看来最低生态水位定在 1047.16 m 是符合博斯腾湖实际情况的, 可以作为湖泊调蓄水资源的依据.

(2) 本文通过湖泊具体情况研究, 认为以湖泊任何单个指标计算都是以该指标为侧重点的, 针对性很强, 但不能综合考虑, 所以提出湖泊最低生态水位的计算方法综合指标法, 该方法综合考虑了湖泊的各项指标, 指标的选取可根据湖泊特点来选取, 根据实际情况确定权重. 通过博斯腾湖的计算表明, 该方法切实可行.

## 5 参考文献

- [1] 崔保山, 赵翔, 杨志峰. 基于生态水文学原理的湖泊最小生态需水计算. 生态学报, 2005, 25(7): 1778 - 1795.
- [2] 徐志侠, 陈敏健, 董增川. 湖泊最低生态水位计算方法. 生态学报, 2004, 24(10): 2324 - 2328.
- [3] Baird A J, Wilby R L. Eco-hydrology: plant and water in terrestrial and aquatic environment. London and New York: Routledge Press, 1999: 78 - 156.
- [4] Rashin P D, Hansen E, Margolis R M. Water and Sustainability: Global Patterns and long-range problems. *Natural Researchs Forum*, 1996, 20(1): 1 - 15.
- [5] Ngana J O, Mwalyosi R B, Masulu N F. Development of an integrated water resources management plan for the lake Manyara sub-basin, Northern Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2003, 1003 - 1038.
- [6] David R T, Harish B, Ronald R. Constructed wetlands as recirculation filters in large scale shrimp aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 2002, (26): 81 - 109.
- [7] 夏军, 左其亭, 邵民诚. 博斯腾湖水资源可持续利用——理论、方法与实践. 北京: 科学出版社, 2003: 23 - 24.
- [8] 兰文辉, 阿比提, 安海燕. 博斯腾湖流域水环境保护与治理. 湖泊科学, 2003, 15(2): 147 - 152.
- [9] 赵翔, 赵宝山. 白洋淀最低生态水位研究. 生态学报, 2005, 25(5): 1033 - 1040.
- [10] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲等. 生态环境需水量理论、方法、与实践. 北京: 科学出版社, 2003, 3: 29 - 30.
- [11] 肖芳, 刘静玲, 杨志峰. 城市湖泊生态环境需水量计算. 水科学进展, 2004, 15(6): 781 - 786.
- [12] 成正才, 李宇安. 博斯腾湖的水盐平衡与矿化度. 干旱区地理, 1997, 20(3): 43 - 49.
- [13] 周聿超. 新疆河流水文水资源. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1999: 76 - 81.
- [14] 高华中, 姚亦锋. 近 50 年来人类活动对博斯腾湖水位影响量研究. 地理科学, 2005, 25(3): 305 - 309.
- [15] 谭芫, 李宇安. 1987 年博斯腾湖水位还原分析. 干旱区地理, 2004, 27(3): 316 - 319.
- [16] 左其亭, 夏军, 邵民诚等. 博斯腾湖水资源可持续利用调度系统. 水利水电技术, 2003, 34(2): 1 - 4.