近 50年来人类活动对博斯腾湖水位影响的量化研究

高华中[1,2], 姚亦锋[1]

(1. 南京大学城市与资源学系, 江苏 南京 210093; 2 临沂师范学院地理与旅游系, 山东 临沂 276005)

摘要: 博斯腾湖是新疆最大的湖泊, 也是中国最大的内陆淡水湖, 其巨大的环境、生态和经济价值一向为人们所关注。近 50年来, 博斯腾湖水位发生了很大变化, 1958~ 1987年水位持续下降, 1988~ 2002年水位又转为持续上升, 目前处于 50年来的最高水位。针对其水位变化, 利用近 50年来的实测数据分析了人类活动对水位变化的影响, 定量还原了天然状况下博斯腾湖的水位。研究结果表明, 自 1958年以来人类活动对博斯腾湖水位变化的影响经历了弱→强→弱的变化过程, 其中 20世纪 70~ 80年代人类活动对水位变化影响最为显著, 90年代以后影响强度有所减弱。

关 键 词: 博斯腾湖; 水位变化; 人类活动; 量化

中图分类号: P343. 3 文献标识码: A 文章编号: 1000- 0690(2005) 03- 0305- 05

博斯腾湖位于天山南麓焉耆盆地东南部, 位于 86°40′~ 87°56′E、41°56′~ 42°14′N, 是新疆最大的湖泊、中国最大的内陆淡水湖泊, 流域面积 2. 7× 10^4 km^2, 湖区降水稀少, 蒸发量大, 属中温带干旱荒漠气候[1]。博斯腾湖既是开都河的尾闾湖, 又是孔雀河的源头, 具有蓄洪灌溉, 保障库尔乐、尉犁两大绿洲生产生活用水, 以及塔里木河下游生态系统和环境的重要作用[2]。近 50年来博斯腾湖水位变化非常大, 既有自然的因素, 也有人为的原因[3~5]。本文根据多年实测数据, 就人类活动对博斯腾湖水位变化的影响进行定量研究。

1 近 50年来的水位变化及机制

1. 1 水位变化特点

博斯腾湖水位自 1958年以来持续下降, 直至 1987年, 其间仅有几次小回升, 湖面水位由 1958年的海拔 1 048 m 降至 1987的 1 045 m[6], 30年共下降了 3. 0 m, 平均每年下降 10 cm。1987年以来博斯腾湖湖面水位持续快速上升, 至 2002年达到海拔 1 048. 9 m[6], 16年水位上升量达 3. 9 m, 平均增速达 24. 4 cm/a, 湖泊蓄水量也由 53. 7× 10^8 m^3, 增至 95. 1× 10^8 m^3[3][6]。

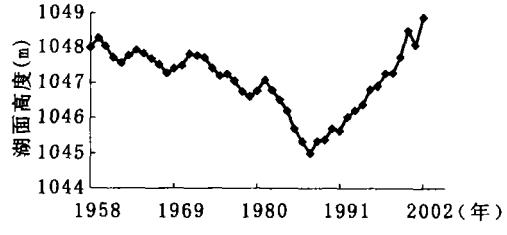

图 1 博斯腾湖水位变化

Fig. 1 Changes of the water level of Bosten Lake

1. 2 水位变化机制

博斯腾湖水位变化主要受气候变化及人类活动的影响。图 2和图 3是根据博斯腾湖流域焉耆气象站近 50年来的降水、气温实测值[7]进行的趋势分析结果。从图 2可以看出, 20世纪 60年代后期至 70年代末, 年降水量线呈缓慢波动下降趋势, 80年代中期以来有所增加, 尤其是 1987年以后增幅十分显著, 近 50年来总体呈上升变化。

从图 3中, 可以看出近 50年来气温呈明显的上升趋势, 其中 20世纪 60~ 70年代气温在波动中降低, 80年代以来气温上升加速, 与全球和北半球的变化趋势一致[8]。近 50年来其年平均气温线性

收稿日期: 2004- 04- 19; 修订日期: 2004- 08- 21
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 40271103)、南京大学"985工程"自然地理学科建设基金项目共同资助。
作者简介: 高华中 (1966-), 男, 山东临沂人, 副教授, 博士研究生, 主要从事环境演变与全球变化研究。E- mail: gaohzh@ 163. com

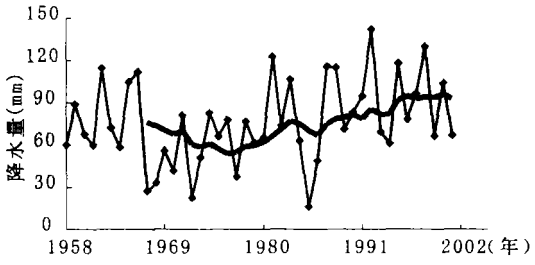

图 2 博斯腾湖年降水 10年滑动平均线

Fig 2 Ten-year-running-mean rainfall of Bosten Lake

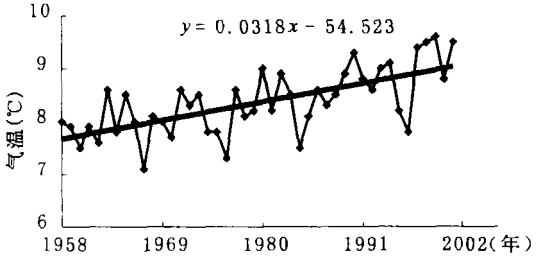

图 3 博斯腾湖年均气温过程线

Fig 3 Change of annual temperature in Bosten Lake

变率为 0.318℃/10 a,略高于新疆全区的 0.27℃/10 a,明显高于全球气温同期 0.03~0.06℃/10 a 的增幅[9]。

1958~1986年水位下降是由于博斯腾湖流域降水持续偏少,使湖泊接受的入湖补给量少。占博斯腾湖入湖总水量 85%的开都河,年径流量在 1956~1986年的平均值为 32.94×10^8 m^3,较之 1987~2000年的平均值少 12.2%[10]。开都河是一条以大气降水补给为主的河流,降水补给约占总补给量的 84.8%,而雪冰融水补给仅占径流量的 15.2%[3],可见开都河流量的增大主要是降水增加所致。与此同时,农业灌溉引水量却逐步增加,使入湖补给量大大减少,导致湖泊水位下降,尤其是 20世纪 80年代前几年,呈快速下降势态。1987年以来,随着新疆气候由暖干向暖湿的转化,生态、环境产生了显著的响应[11~15]。博斯腾湖流域降水量的增加,使开都河径流量随之增加,气温升高冰雪融水补给也有所增大,导致开都河入湖径流量大为增加,农业用水量在 1987~2000年有所减少,以上几项合计博斯腾湖补给水量每年约增加 9×10^8 m^3[3],致使水位持续上升。

2 水量平衡分析

博斯腾湖湖水补给包括地表水入湖补给、地下水入湖补给、湖面降水和农田灌溉排水入湖 4部分;湖水消耗量由湖水外流(流入孔雀河)、湖面蒸发和地下水流出 3部分组成。由此可以建立湖泊水量平衡方程:

$$V_p + V_{rd1} + V_{rg1} + V_a = V_E + V_{rd2} + V_{rg2} + \Delta V$$

式中,V_p 为湖面降水量,V_{rd1}、V_{rd2}分别为入湖、出湖地表径流量,V_{rg1}、V_{rg2}分别为入湖、出湖地下水流量,V_a 为农田灌溉排水入湖量,V_E 为湖面蒸发量,ΔV为湖水贮量的变量。

2.1 湖水补给量

由地表水入湖补给、地下水入湖补给、湖面降水和农田灌溉排水入湖 4部分组成,对博斯腾湖来说,地表水补给由开都河等 10多条河流提供,其中开都河占全部入湖水量的 95%[11],其入湖水量可由宝浪苏木水文站测出。地下水补给量比较稳定,湖面降水、农田灌溉排水量变化也不是很大,且所占比例不大,因此可以取多年平均值计算。1955~1995年地下水补给量平均值为 0.53×10^8 m^3/a,湖面降水量为 1.04×10^8 m^3/a,其它河流入湖的水量为 0.58×10^8 m^3/a,农田灌溉排水入湖量 1.87×10^8 m^3/a[16]。

2.2 湖水消耗量

由湖水外流、湖面蒸发、地下水流出 3部分组成。湖水外流量可以用塔什店水文站所测径流量减去解放一渠输水量(因解放一渠由开都河不经博斯腾湖而直接流入孔雀河)求得。湖面蒸发量由湖面水位-蒸发量关系图[5]求得。

2.3 水量平衡分析结果

图 4可看出,20世纪 50年代末期至 70年代初期补给量曲线与消耗量曲线互相交错,补给、消耗大体平衡,湖泊水位变化不大;70年代中期到 80年代中期消耗量大于补给量,湖泊水位大幅度下降;90年代中期以来补给量基本大于消耗量,表现为水位快速上升。

1958~2002年平均入湖的地表水 23.62×10^8 m^3/a[5],地下水补给 0.53×10^8 m^3/a[16],湖面降水补给 1.04×10^8 m^3/a,农田灌溉排水入湖 1.87×10^8 m^3/a,湖泊流出水量 10.47×10^8 m^3/a,湖面的蒸发量为 14.81×10^8 m^3/a,地下水流出量为 0.58×10^8 m^3/a。博斯腾湖水量平均增加 0.167×10^8 m^3/a。

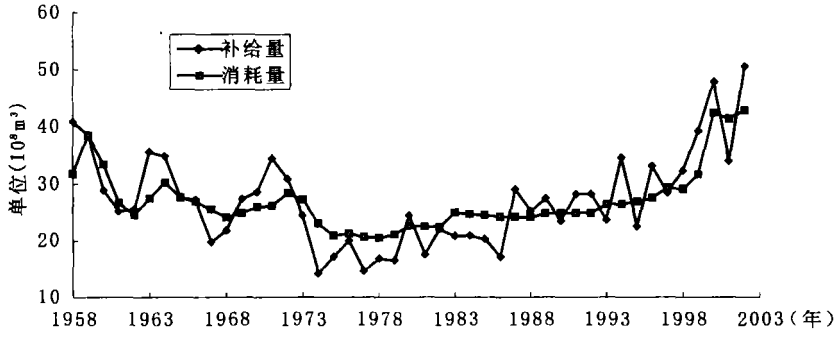

图 4　博斯腾湖水量补给量及消耗量

Fig 4　Replenishment and consumption of water of Bosten Lake

3　人类活动对湖泊水位变化的影响

3 1　近 50年来博斯腾湖流域的人类活动

博斯腾湖流域是指博斯腾湖集水区域, 不包括孔雀河流域。人类活动是干旱、半干旱地区湖泊水位变化的重要原因之一[17]。20世纪 50年代以来, 博斯腾湖流域进行了大规模的开发, 农田面积大量增加, 灌溉面积由 1950年的 3 0×10^4 hm^2 扩大到 1958年的 3 24×10^4 hm^2[5], 又猛增到 2002年的 9 99×10^4 hm^2[6], 与 1958年相比增加了 2 08倍; 与此同时灌溉引水量由 1950年的 3 0×10^8 m^3、1958年的 8 17×10^{8}m^3[5], 增加到 2002年的 9 07×10^8 m^3[6]。博斯腾湖流域水土开发主要集中的两个时期: 20世纪 50年代至 60年代中期和 70年代后期以来[5]。50年代到 60年代中期, 博斯腾湖流域开发以农田灌溉面积和灌溉引水量的大幅度增加为特点; 70年代后期以来在灌溉面积增长近 1倍的情况下, 灌溉引水量却下降了 3 0×10^8 m^3 左右, 主要原因是实行了科学引水灌溉, 灌溉定额由 1978年的 19 545 m^3 / hm^2[5] 降至 2002年的 9 075 m^3 / hm^2[6]。

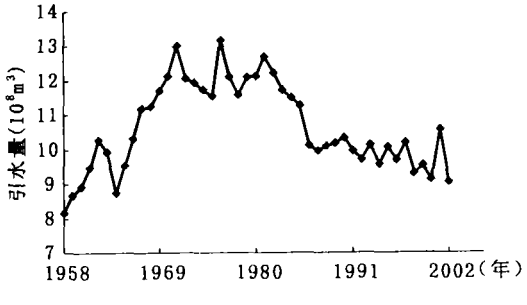

图 5　开都河灌区引水量

Fig 5　Drawing water of Kaidu River irrigated area

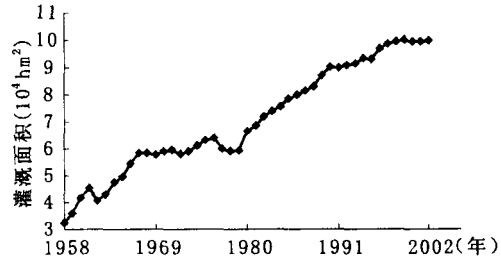

图 6　开都河灌区灌溉面积

Fig 6　Irrigated area of Kaidu River

3 2　人类活动对入湖水量及湖面水位的影响

1958~ 2002年开都河平均径流量为 35 64×10^8 m^3 /a[5], 同期开都河灌区平均引水量 10 64×10^8 m^3 /a[5], 引水量占开都河径流量的 29 9%。另外, 博斯腾湖流域的地下水开采量多年的平均值为 0 52×10^8 m^3 /a[16], 主要为生产、生活用水, 地下水抽取点距开都河及博斯腾湖都比较远, 因此对博斯腾湖的地下水补给影响很小, 可以忽略不计。

从表 1可以看出, 开都河灌区引水量以 20世纪 70年代最高, 80年代次之, 90年代最少; 若按引水量占开都河同期径流量的比例来看, 70年代、80年代比例大致相当, 但 80年代湖泊水位下降量大于 70年代。90年代以来开都河径流量有较大幅度的增加, 而开都河灌区进水量却比 80年代减少了 12 8%, 致使博斯腾湖水位上升。

4　博斯腾湖水位还原计算

假设出湖水量仍保持原流量不变, 计算出因人类活动而减少的入湖水量, 将其还原到入湖径流中, 即可得出天然情形下的入湖径流量和湖泊总贮水量, 通过博斯腾湖水位 – 面积 – 库容关系图[5], 可得出天然状况下的博斯腾湖水位, 即还原后的水位。

表 1 博斯腾湖水位变化的人为影响分析 (10^8 m^3)

Table 1 Effect of human activities on the water level change of Bosten Lake

	开都和径流量 (K_1)	开都河引水量 (K_2)	K_2/K_1 (%)	湖水位 (m)
60年代 (1960~1969)	32.59	10.14	31.1	1047.67
70年代 (1970~1979)	33.25	12.15	36.5	1047.41
70年代与60年代相比/(%)	+2.03	+19.8		-0.26
80年代	30.91	11.29	36.5	1046.07
80年代与70年代相比/(%)	-7.03	-7.1		-1.34
90年代	36.41	9.85	27.1	1046.60
90年代与80年代相比/(%)	+17.8	-12.8		+0.53

从表 2和图 7可以看出,人类活动对湖面水位的影响以 20世纪 70~80年代最为显著, 90年代以来影响有所减小。

表 2 灌溉耗水量及对湖面水位的影响

Table 2 Irrigation wastage and its effect on water level of Bosten Lake

年份	灌溉净耗水量 (10^8 m^3)	水位变化 (m)	年份	灌溉净耗水量 (10^8 m^3)	水位变化 (m)
1958	6.30	0.54	1981	10.83	0.97
1959	6.80	0.57	1982	10.36	0.96
1960	7.06	0.5	1983	9.87	0.87
1961	7.61	0.59	1984	9.64	0.92
1962	8.41	0.73	1985	9.41	1.16
1963	8.06	0.59	1986	8.25	0.87
1964	6.87	0.68	1987	8.09	0.88
1965	7.67	0.72	1988	8.23	0.90
1966	8.45	0.78	1989	8.31	0.93
1967	9.32	0.88	1990	8.47	1.05
1968	9.38	0.87	1991	8.09	0.76
1969	9.85	0.92	1992	7.84	0.76
1970	10.27	0.89	1993	8.26	0.82
1971	11.14	0.73	1994	7.71	0.75
1972	10.2	0.78	1995	8.20	0.76
1973	10.08	0.85	1996	7.83	0.77
1974	9.88	0.86	1997	8.32	0.76
1975	9.7	1.03	1998	7.44	0.64
1976	11.31	0.94	1999	7.67	0.65
1977	10.25	0.89	2000	7.27	0.54
1978	9.73	1.17	2001	8.72	0.70
1979	10.23	1.01	2002	7.20	0.61
1980	10.27	1.03			

5 讨论与结论

博斯腾湖水位受气候变化和人类活动的共同影响,近 50年来湖泊水位发生了巨大变化, 1958~1987年水位持续下降, 1988~2002年水位又转为持续上升,目前处于近 50年来的最高水位。1987年以来湖区气候由暖干向暖湿的转型,降水量的增加是导致湖泊水位上升的主要原因,同时人类引水量的逐渐减少也是湖泊水位上升的原因之一。

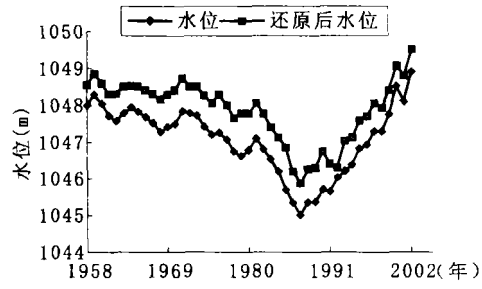

图 7 还原后的博斯腾湖水位

Fig. 7 Restored water level of Bosten Lake

从 1958年以来人类活动对博斯腾湖水位变化的影响经历了弱-强-弱的变化过程, 20世纪 50年代末至 60年代开都河灌区灌溉面积迅速增长,灌溉引水量突破 10×10^8 m^3,人类活动对水位变化的影响趋于增强, 70~80年代是人类活动对水位变化影响最大的时期, 90年代以来在灌溉面积不断扩大的情况下,引水量反而较 80年代下降了 1.44×10^8 m^3,表明水资源利用率大大提高。2000年以来随着博斯腾湖向塔里木河下游的 5次输水[2],塔里木河下游的生态环境得到了极大改善,博斯腾湖的生态环境功能得到了进一步发挥,也显示了人类调控环境能力的显著增强。

致谢:中国科学院新疆生态与地理研究所姜逢清博士提供了部分资料,谨致谢忱。

参考文献:

[1] 王亚俊,李宇安,谭 芫. 新疆博斯腾湖生态环境变迁分析[J]. 干旱区资源与环境, 2004, **18**(2): 61~65.

[2] 谭 芫,王亚俊,宁建忠. 新疆博斯腾湖水生态环境变化分析[J]. 干旱区研究, 2004, **21**(1): 7~12

[3] 李宇安,谭 芫,姜逢清,等. 20世纪下半叶开都河与博斯腾湖的水文特征[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 215~218.

[4] 王 润, Ernst Giese, 高前兆. 近期博斯腾湖水位变化及其原因分析[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(1): 60~64

[5] 周成虎,罗格平,李 策,等. 博斯腾湖环境变化及其与焉耆盆地绿洲开发的关系[J]. 地理研究, 2001, **20**(1): 14~23.

[6] 夏 军,左其亭,邵民诚. 博斯腾湖水资源可持续利用[M]. 北京: 科学出版社, 2003, 24~101.

[7] 中央气象局. 中国地面气象月报[Z]. 北京: 气象出版社, 1958~2002.

[8] 刘晓东,安芷生,方建刚,等. 全球气候变化条件下黄河流域降水的可能变化[J]. 地理科学, 2002, **22**(5): 513~519.

[9] 苏宏超,魏文寿,韩 萍. 新疆近 50年来的气温和蒸发变化[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 174~ 178.
[10] 张国威,吴素芬,王志杰. 西北气候转型信号在新疆河川径流变化中的反映[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 183~ 187.
[11] 张丽旭,魏文寿. 天山西部中山带积雪变化趋势与气温和降水的关系——以巩乃斯河谷为例[J]. 地理科学, 2002, **22**(1): 67~ 71.
[12] 姜逢清,朱 诚,胡汝骥. 1960~ 1997年新疆北部降水序列的趋势探测[J]. 地理科学, 2002, **22**(6): 669~ 672.
[13] 胡汝骥,马 虹,樊自立,等. 新疆水资源对气候变化的响应[J]. 自然资源学报, 2002, **17**(1): 22~ 27.
[14] 姜逢清,朱 诚,穆桂金,等. 新疆绿洲当代人地关系紧张情势与缓解途径[J]. 地理科学, 2003, **23**(2): 157~ 163.
[15] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, **23**(2): 152~ 164.
[16] 兰文辉,阿比提,安海燕. 新疆博斯腾湖流域水环境保护与利用[J]. 湖泊科学, 2003, **15**(2): 147~ 152.
[17] 彭 敏,陈桂琛,周立华. 青海湖水位下降与湖区人为耗水关系的研究[J]. 地理科学, 1994, **14**(2): 127~ 135.

Quantitative Effect of Human Activities on Water Level Change of Bosten Lake in Recent 50 years

GAO Hua-Zhong[1,2], YAO Yi-Feng[1]

(1. *Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu* 210093;
2. *Department of Geography and Tourism, Linyi Teachers' College, Linyi, Shandong* 276005)

Abstract: Bosten Lake, which is located in arid and desert zone, is the largest lake in Xinjiang and is the largest inland freshwater lake in China. It has giant value in environment, ecology and economy. The water level of Bosten Lake has changed tremendously in the recent 50 years, the water level descended from 1048 m above sea level in 1958 to 1045 m in 1987, and ascended from 1045 m to 1048.9 m during the period of 1988- 2002, it is in the highest level now. According to the records in recent 50 years, this paper analyzed the effect of human activities, restored the water level of natural environment quantitatively. The research results show that the change of human's effect undergo the process from weak to strong to weak, in which, the effect of human activities is the strongest from the 1970s to the 1980s, the effect has been weakened since the 1990s.

Key words: Bosten Lake; change of water level; human activities; calculating