

## 新疆博斯腾湖水盐平衡及水环境预测\*

钟瑞森, 董新光\*\*

(新疆农业大学水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 本文通过综合整理、筛选、分析焉耆盆地 1960–2003 年历年逐月水文、气象、水土开发、社会经济等资料, 并结合遥感影像数据, 应用水盐平衡模型, 模拟分析该期间博斯腾湖水盐平衡状况, 并以此为基础, 结合焉耆盆地近期规划设置了两个情景方案进行模拟, 对博湖未来 40 多年的水环境做出预测分析. 结果表明, 尽管近年博湖年均脱盐量达  $30.6 \times 10^4$  t/a, 但仍然必须使盆地进入湖区的淡水量增加、盐量减少才能降低博湖水矿化度. 盆地内近期工程项目实施后(情景 B), 博湖大湖区水矿化度波动于 0.84–1.38g/L 之间, 其水矿化度有望调控到 1.00g/L 以下. 据模拟, 预测期的第 37 年(2040 年), 其水矿化度才可降至 1.00g/L. 孔雀河水质难于恢复到原状态, 但是在保证博湖水环境改善的前提下, 其水矿化度可调控到 0.60g/L 以下. 由情景 B 的预测分析表明, 焉耆盆地近期规划实施的工程项目对博湖的水环境是有利的, 博湖水环境向良性循环发展.

**关键词:** 水盐平衡; 水环境; 矿化度; 博斯腾湖

## Water-salt balance and water environment forecast of Lake Bosten in Xinjiang

ZHONG Ruisen & DONG Xinguang

(School of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, P. R. China)

**Abstract:** Comprehensively sorting out, sifting and analyzing multi-year monthly data of hydrographical, meteorological, water and land uses, social economy, remote sensing from Yanji Basin, this paper simulated and analysed conditions of water-salt balance of Lake Bosten from 1960 to 2003 using Water-Salt Balance Model. Based on these studies, two projects were provided for development planning of Yanji Basin in the near future. And then, it forecasted and analysed water environments of Lake Bosten in future 40 years. According to the simulation results, some conclusion was following: Though there was exporting salt in an accumulation of average 306000t/a that made desalination in the lake, it might increase freshwater and decrease input-salt to reduce the degree of mineralization of Lake Bosten. After the construction projects in recent years were implemented in Yanji Basin, the degree of mineralization of Dahu would be limited between 0.84g/L and 1.38g/L according to scenarios of Project B. Under such circumstances, the degree of mineralization of Dahu could be adjusted and controlled under 1.00g/L. The degree of mineralization of Dahu could decrease to 1.00g/L in 2040 according to the simulation. Water quality of Kongque River was difficult to restore to original state, but its degree of mineralization could be controlled under 0.60g/L because of the improved water environments of Lake Bosten. Forecast analysis of Project B showed that it was beneficial to water environments of Lake Bosten when the construction project in the near future was completed in Yanji Basin. And water environments of Lake Bosten would tend to a well-ordered circle.

**Keywords:** Water-salt balance; water environment; degree of mineralization; Lake Bosten

博斯腾湖位于新疆天山南麓(以下简称博湖), 焉耆盆地东南最低洼处(86°20′–87°26′E 41°44′–42°14′N)(图1). 博湖水域面积辽阔, 不仅是巴音郭楞蒙古自治州各族人民生活、生产的主要水源, 而且是开都河与孔雀河之间的天然径流调节水库, 对该地区抗旱、防洪都有重要作用<sup>[1]</sup>. 博湖水盐变化直

\* 国家重点基础研究发展计划项目(973)(2007CB416604)、国家自然科学基金项目(40662002)和新疆水利水电工程重点学科基金(XJZDXK2002–10–05)联合资助. 2007–01–09 收稿; 2007–08–03 收修改稿. 钟瑞森, 男, 1978 年生, 博士研究生; E-mail: risen2002@163.com.

\*\* 通讯作者.

接影响到湖区芦苇长势、渔业发展及生物多样性等, 进而影响孔雀河的水量与水质, 由此又关系到孔雀河流域库尔勒市、尉犁县的工农业发展. 而且, 博湖的水盐变化又与焉耆盆地的水土开发息息相关. 因此, 弄清博湖的水盐平衡现状和预测博湖未来的水盐变化状况将有助于指导焉耆盆地、博湖及孔雀河的水盐治理, 保护博湖水环境, 促进开都河—孔雀河流域社会经济可持续发展. 针对博湖的水盐问题, 以往多为用短序列或零星数据估算某个时段的平均值<sup>[2]</sup>, 进而分析其历史变化及影响因素<sup>[3-7]</sup>, 很少结合当地水土开发和经济发展趋势利用长序列且较完整的数据对其未来变化做相应分析, 而且大部分的研究仅限于博湖的大湖区, 较少同时考虑小湖区. 本文通过综合整理、筛选、分析焉耆盆地 1960—2003 年历年逐月水文、气象、水土开发、社会经济等资料, 并结合遥感影像数据, 应用水盐平衡模型, 对博湖近几十年水盐状况进行模拟分析. 并根据焉耆盆地近期规划, 设置情景方案对博湖进行更深一层次的预测分析.

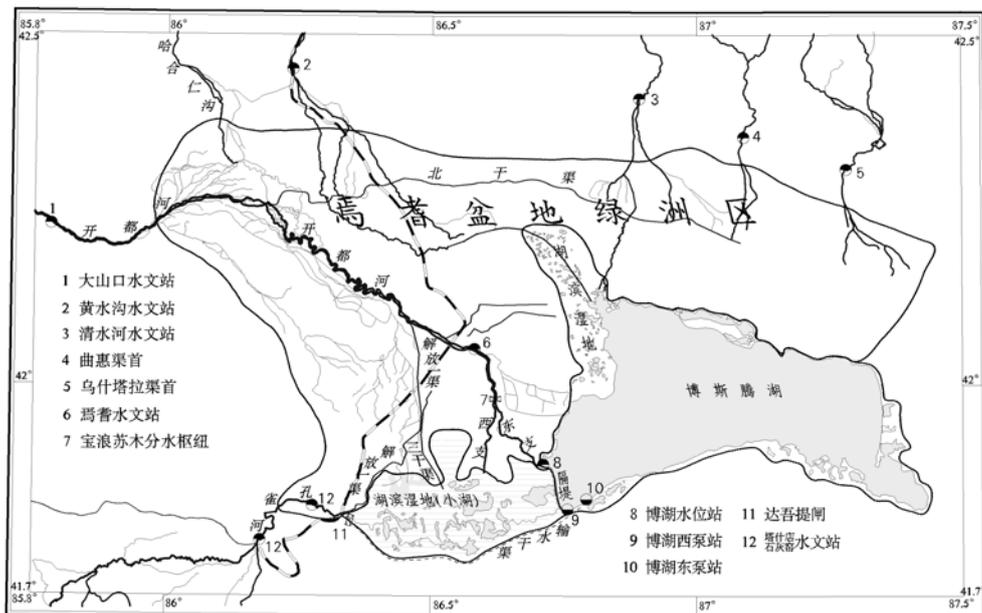


图 1 博斯腾湖地理位置及水系

Fig.1 Map of river system and location of Lake Bosten

## 1 博斯腾湖概述

博湖古称“西海”, 既是开都河的归宿, 又是孔雀河的源头. 它由大湖、小湖群、湖滨湿地三部分组成. 博湖习惯上被称为大湖. 大湖水域辽阔, 水位 1046m 时, 水域面积约 974km<sup>2</sup>, 库容约 63 × 10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>. 小湖群由 16 个小湖泊组成, 集中分布于大湖西南部, 面积约 390km<sup>2</sup>, 水域面积约 45km<sup>2</sup>. 大湖区西南及西北角沿岸分布着大片的芦苇沼泽, 一般将小湖区及芦苇沼泽俗称湖滨湿地, 面积总约 590km<sup>2</sup>. 本文模拟分析以博湖隔堤为界, 隔堤东侧为大湖区, 西侧为小湖区.

博湖作为焉耆盆地地表水与地下水的承泄区, 主要由开都河水、灌区排水、地下水泄入. 开都河多年径流量约 34.82 × 10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>, 占进入盆地总径流量的 84.6%, 是唯一能常年补给博湖的河流. 开都河在下游宝浪苏木分水枢纽处分为东支和西支, 东支入大湖, 西支入小湖(图 1). 排水进入大、小湖水多年平均分别约 1.63 × 10<sup>8</sup>m<sup>3</sup> 和 0.32 × 10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>, 矿化度多年平均分别约 2.25g/L 和 2.40g/L. 1983 年前, 博湖出流为自然出流, 由小湖经达吾提闸入孔雀河. 1983 年后, 博湖西泵站的建成改变了博湖的出流方式, 大湖出流由西泵站扬水直接入孔雀河, 小湖仍由达吾提闸流入孔雀河. 2002 年大、小湖隔堤的竣工使博湖大、小湖可以通过应急输水生态闸发生水量交换.

## 2 资料与方法

### 2.1 资料分析

根据新疆水文统计年鉴、新疆水利统计资料汇编、新疆统计年鉴及新疆生产建设兵团统计年鉴等几十年的文献档案,及1999-2004年实施的开都河—孔雀河流域水盐监测数据<sup>①</sup>,整理、收集到自有记录至2003年焉耆盆地水文、气象、灌溉面积、灌溉引水量等相关资料.并系统地解译了多年遥感影像数据分析焉耆盆地的土地利用情况,校验灌溉面积等统计数据.所获取的大部分资料具有1960-2003年的长序列,相对较完整.大山口、黄水沟、清水河(克尔古提)、焉耆、塔什店等国家级水文站有自建站至2003年的逐月径流量及1981-2003年逐月平均矿化度,这些水文站控制了焉耆盆地进、出水量的96%以上.另外,为预测的需要,对大山口、黄水沟、清水河等水文站的月、年径流量序列进行水文小波分析,得到这些站点的月、年径流量趋势,进而对其数据进行延伸.

### 2.2 模拟方法

应用水盐平衡的原理,将博湖概化(图2),建立水盐平衡模型.湖泊主要补给来自河道水、灌区排水以及地下水等,主要消耗为泻水入河道、湖面蒸发以及湿地蒸腾等.根据湖泊水分转化关系,博湖大、小湖的水量平衡方程式表示为:

$$BOUT = BEIN + BDR + BGW - BLEXCH - BET - BRET \pm BRS \quad (1)$$

$$LOUT = LWIN + LDR + LGW + BLEXCH - LET - LRET \pm LRS \quad (2)$$

式中, $BOUT$ ,  $LOUT$ 分别为大、小湖排出的水量; $BEIN$ ,  $LWIN$ 分别为河道注入大、小湖的水量; $BDR$ ,  $LDR$ 分别为灌区排水汇入大、小湖的水量; $BGW$ ,  $LGW$ 分别为地下水、降水补给大、小湖的水量; $BLEXCH$ 为大、小湖的水分交换量; $BET$ ,  $LET$ 分别为大、小湖的水面蒸发量; $BRET$ ,  $LRET$ 分别为大、小湖区植被蒸腾量,主要指芦苇消耗的水量; $BRS$ ,  $LRS$ 分别为大、小湖的蓄水变化量.

博湖大、小湖的河道入流可以通过宝浪苏木分水枢纽调节,即在宝浪苏木分水枢纽处将开都河来水一分为二,东支入大湖,西支入小湖.根据这种情况,且为了便于方案预测,本模型设定东、西支的分水比例为 $Epro:Wpro$ .假设开都河到达宝浪苏木分水枢纽处的总水量为 $RFO$ ,则博湖大、小湖河道入流存在关系式 $Epro+Wpro=1$ , $RFO=BEIN+LWIN$ .

宝浪苏木的总水量( $RFO$ )、灌区排水入湖水量( $BDR$ ,  $LDR$ )由焉耆盆地绿洲区水平衡模拟得到,参见文献[8-12];地下水、降水入湖水量( $BGW$ ,  $LGW$ )采用多年平均值,分别 $1.17 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $0.38 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ [11-12];湖区水面蒸发量( $BET$ ,  $LET$ )、植被蒸腾量( $BRET$ ,  $LRET$ )的计算采用遥感影像运用SEBAL模型[13-14]对不同时期的部分特征月份进行计算和校验,其它月份数据由插补得到,并参考夏军等[15]、王亚俊等[5]的研究成果.

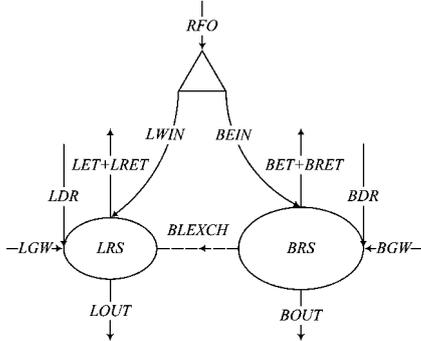


图2 博斯腾湖水盐平衡示意

Fig.2 Sketch map of water-salt balance of Lake Bosten

博湖大湖区水域面积大,水体调节功能强,是博湖模拟的主体部分.对于大湖区,其模拟水位和库容分别由水位与库容、面积与库容的关系得到.假设水位与库容、面积与库容都满足二次函数曲线关系.根据2000年巴州水利局的测绘结果,应用数据分析软件对博湖1044.5m以上水位进行非线性拟合,得出博湖水位—库容、面积—库容关系式为:

$$Level=1037.79688+0.15662V-4.19154e^{-4}V^2 \quad (3)$$

$$Area=320.11577+11.50964V-0.01805V^2 \quad (4)$$

式中, $Level$ 为湖泊水位(m); $Area$ 为湖泊水面面积( $\text{km}^2$ ); $V$ 为湖泊库容( $10^8 \text{ m}^3$ ).拟合出的两个关系式其复相关系数 $R^2$ 都接近于1,可靠性很高.对于小湖区,认为其水位和水域面积基本保持不变.

盐量平衡根据水量平衡结果,各项逐月均入(出)水量与水体矿化度的乘积为各项水体带人(出)湖区

① 新疆农业大学.新疆开都河—孔雀河流域水盐监测与模型应用研究.2005.

的盐量. 设湖区盐量变化 $\Delta S$ , 入湖和出湖水量分别  $V_i$  和  $V_o$ , 入湖和出湖水体的矿化度分别  $C_i$  和  $C_o$ , 则  $\Delta S = V_i C_i - V_o C_o$ . 以 $\Delta S$ 的正负值表述湖区的积脱盐状况.

在只关心湖区盐量大致平衡的情况下,  $\Delta S$  即可满足要求. 但计算某一时段湖水矿化度时, 还需考虑水生生物对盐分的吸收、沙尘带入湖区的盐量以及盐分在湖中的沉积等因素:

$$V_k C_k = V_{k-1} C_{k-1} + V_i C_i - V_o C_o - S_b + (S_d - S_{dt}) \tag{5}$$

式中,  $V_k, C_k, S_b, S_d, S_{dt}$  分别为时段( $k$ )湖区水量、水体平均矿化度、水生生物吸收的盐量、沙尘带入的盐量、盐分沉淀量;  $V_i, V_o, C_i, C_o$  分别为时段( $k$ )入(出)湖的水量和水体矿化度;  $V_{k-1}, C_{k-1}$  分别为上一时段( $k-1$ )的湖区水量和水体平均矿化度.

对于水生生物吸收的盐量本研究仅考虑芦苇收割后带走的盐分, 将其看作常量, 大、小湖区平均值分别为  $0.9 \times 10^4 \text{ t/a}$ 、 $1.5 \times 10^4 \text{ t/a}$ . 由于进入湖区的沙尘受风力、风向和湿度等不确定性因素的影响, 年内与年际沙尘带入的实际可溶盐量  $S_d$  较难估算; 另外, 湖水中难溶盐离子的化学反应及其沉淀速率受多项因素(如水体本身的矿化度、水温、pH 值等)的综合影响而难于测算. 由此考虑沙尘带入的可溶盐分的量  $S_d$  与湖水中难溶盐离子的量  $S_{dt}$  部分相互抵消, 设  $\varepsilon = S_d - S_{dt}$ , 为了方便计算, 假定  $\varepsilon = 0$ . 实际上, 当  $\varepsilon \neq 0$  时, 比值  $\delta = \varepsilon / V_k$  相对于  $C_k$  要小好几个量级, 所以计算时可将  $\delta$  作为  $C_k$  的计算误差忽略不计, 假定  $\varepsilon = 0$  是可行的.

大、小湖区入流水体矿化度以统计资料和水盐监测数据为依据. 由于大、小湖区出流水体矿化度实测数据有限, 且西泵站建成前, 大、小湖交换水量的水体矿化度也未知, 为了模拟和预测的需要, 在数据未知的情况下假设出流水体矿化度与湖水矿化度存在关系式  $\lambda = C_o / C_k$ . 则公式(5)演变为下式:

$$V_k C_k = V_i C_i + (V_{k-1} - \lambda V_o) C_{k-1} - S_b \tag{6}$$

据 1983–2003 年实测数据, 计算得到  $\lambda$  平均值约为 0.65. 由水位过程线<sup>[11]</sup>知, 此期间的水位历经了水位下降和上升两个过程, 且都是在西泵站运行情况下的实测数据, 因此可将  $\lambda = 0.65$  用于 1983 年后无实测数据条件及情景预测. 西泵站运行前, 认为大、小湖交换水量的水体矿化度为小湖水平均矿化度. 小湖区存在大面积的芦苇, 水体本身便是一条条很好的天然输水通道, 因此认为小湖出流水体矿化度与湖水矿化度相同, 取  $\lambda = 1.00$ .

### 2.3 模型验证

用博湖水位站自建站以来大湖逐月实测水位、塔什店水文站实测月平均径流量序列对模型进行参数率定与检验. 博湖水位站有 34 年的实测记录, 塔什店水文站具有 1982–2003 年的逐月平均径流量. 大湖逐月模拟水位与实测值散点拟合比较理想(图 3), 相关系数为 0.968, 均方误为 0.003. 塔什店水文站模拟过程与实测值相比较(图 4), 1982–1998 年拟合效果良好, 趋势非常吻合, 平均相对误差为 2.0%; 1999–2003 年, 由于受特大洪水及塔里木河应急输水的影响, 个别月份拟合效果欠佳, 但总体趋势基本一致.

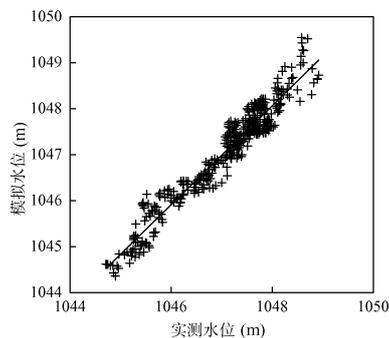


图 3 大湖模拟水位与实测水位散点拟合  
Fig.3 Scattered compare chart of monthly water level in Dahu

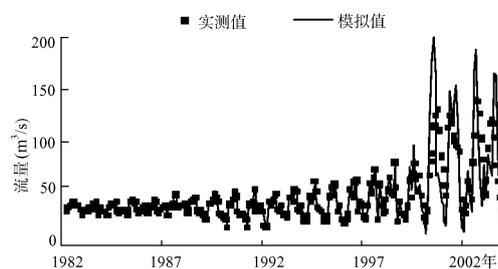


图 4 塔什店水文站模拟与实测月径流量过程拟合  
Fig.4 Curve compare chart of monthly runoff in Tashendian hydrographical station

### 3 结果与讨论

#### 3.1 1960–2003 年水盐状况

以 1960–2003 年历年逐月水文、气象、水土开发、社会经济、遥感解译数据等资料为基础, 按模型要求将数据存入模型的输入文件中, 应用上述模型进行模拟, 得到相应的模拟结果(图 5). 主要结果分析如下.

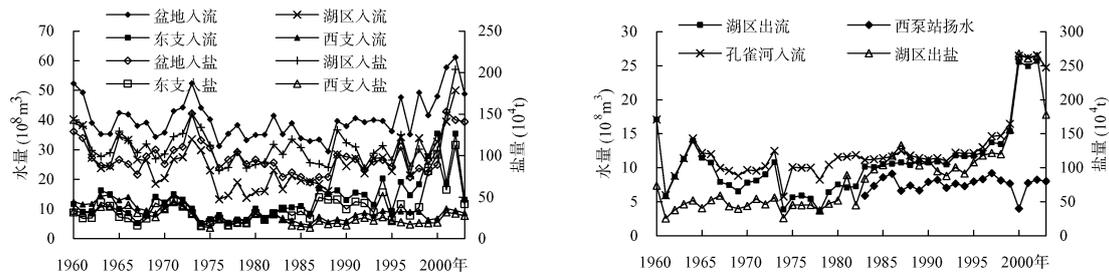


图 5 博斯腾湖入(出)水(盐)量及孔雀河入流量曲线

Fig.5 Curve of the water (salt) import (export) to Lake Bosten and inflow to the Kongque River

进入博湖水量直接受焉耆盆地自然来水的影响, 随自然来水量而变化, 但出湖水量经巨大的湖区调节后, 在平水年份年际变化不大, 丰水年份具有很大的变化(图 5). 1960–2003 年, 多年平均入湖总水量  $27.3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 出湖总水量  $11.4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 湖区总耗水量  $15.9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 东支入大湖区水量  $13.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 西支入小湖区水量  $9.0 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ . 由东、西支入流过程曲线可以看出, 宝浪苏木分水枢纽建成(1987 年)以前, 特别是西泵站建成(1983 年)以前, 东、西支入湖水量为自然的分水过程, 除丰水年份外, 东、西支入湖水量大致相当, 平均比例接近 1:1, 多年平均入流量分别为  $10.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$  和  $10.2 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ . 1983 年后, 西泵站的运行改变了大湖水体的循环方式, 并受分水枢纽的控制致使开都河入大湖区水量增加, 东、西支入湖水量多年平均比例超过 2:1, 多年平均入流量分别为  $16.9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$  和  $7.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ . 西泵站建成后, 解放一渠直接向孔雀河输水量也相继减少, 则孔雀河水主要来自博湖出流, 其中大湖区出流占到了 50%, 比之前增加了近 2 倍. 1983 年以来, 西泵站多年平均扬水量约  $7.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 博湖总出流量多年平均约  $14.9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ .

进入博湖的盐分主要来自开都河水、农田排水等, 尽管进入博湖的开都河水矿化度不高, 排水入湖水量也不大, 但由于 1983 年前大湖区仅仅通过小湖区出流, 排出的盐分相对很少, 盐分逐渐积累导致大湖区水矿化度逐渐升高. 大湖区水体循环的改变使湖水水质有所好转, 到 1987 年后湖水矿化度逐渐回落. 但是, 大湖区水质的好转却导致了孔雀河水矿化度的升高. 孔雀河水矿化度由 1983 年前的平均约 0.45g/L, 升到现在的平均约 0.79g/L. 1960–2003 年, 多年平均进入盆地盐量  $97.7 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 进入博湖盐量  $110.9 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 其中东、西支河水带入的盐量分别为  $38.5 \times 10^4 \text{ t/a}$  和  $25.7 \times 10^4 \text{ t/a}$ (图 5), 其余主要为农田排水带入的盐分, 占总入湖盐量的近 42%. 由此看来, 改善焉耆盆地灌区的农田排水方式或减少排水入湖水量是改善博湖水质不容忽视的途径. 1983 年前, 多年平均博湖入盐量  $110.7 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 出盐量  $47.9 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 博湖总体上是积盐的, 多年均积盐量约  $62.8 \times 10^4 \text{ t/a}$ , 且主要体现在大湖区. 1983 年后, 特别是西泵站运行两年后, 博湖进、出盐量发生了转折性的变化, 湖区由积盐过程转变为脱盐过程, 多年均脱盐量达  $30.6 \times 10^4 \text{ t/a}$ . 由此可见, 西泵站和宝浪苏木分水枢纽的运行有所成效.

#### 3.2 博湖水环境预测

根据焉耆盆地近期规划, 设置两种情景方案模拟分析博湖未来 40 多年的变化. 即: 情景 A 为现状条件; 情景 B 为在现状条件下, 实现盆地已批准工程和正在建设的项目, 主要有塔里木河世行二期贷款、塔里木盆地近期综合治理、大型灌区配套与续建改造、博斯腾湖流域水环境治理与保护等项目, 主要工程包括东泵站、渠道防渗与农田节水、地下水开发利用、排水系统完善、湖滨湿地修复与保护等.

将模型的水文数据序列按水文小波分析的结果自 2004 年向后延伸 40 年. 情景 A 用 2003 年的数据, 各项参数保持不变进行模拟分析; 情景 B 按拟建项目的要求及所需达到的目标, 调整灌溉面积、西(东)泵站出流量、宝浪苏木分水比例、渠系利用系数、排水系数等数据和参数, 进行模拟分析(表 1 和图 6).

表 1 博湖水盐平衡主要指标汇总

Tab.1 Leading indicator of water-salt balance of Lake Bosten

项目	入湖水量			出湖水量			湖区耗水量			入湖盐量			出湖盐量			平均矿化度		孔雀河		
	大湖	小湖	小计	大湖	小湖	小计	大湖	小湖	小计	大湖	小湖	小计	大湖	小湖	小计	大湖	小湖	水量	盐量	矿化度
情景 A	18.7	8.3	27.0	8.5	3.8	12.3	10.1	4.5	14.6	73.9	26.4	100.3	78.4	31.6	110.0	1.44	0.79	12.9	111.2	0.87
情景 B	21.5	8.9	30.4	11.2	4.1	15.3	10.2	4.1	14.3	71.4	26.5	97.9	80.1	29.4	109.5	1.10	0.63	16.5	109.4	0.70
B-A	2.8	0.6	3.4	2.7	0.3	3.0	0.1	-0.5	-0.3	-2.4	0.1	-2.3	1.7	-2.2	-0.5	-0.34	-0.16	3.6	-1.8	-0.17

1) 水量为  $10^8 \text{m}^3$ , 盐量为  $10^4 \text{t}$ , 矿化度为  $\text{g/L}$ . 2) 孔雀河入流量 =  $BOUT \times (1-R_B) + LOUT \times (1-R_L) + Canal \times (1-R_C)$ ,  $BOUT, LOUT$  含义同前,  $Canal$  为解放一渠来水量,  $R_B, R_L, R_C$  分别为各水量从出口到塔什店水文站的损失率.

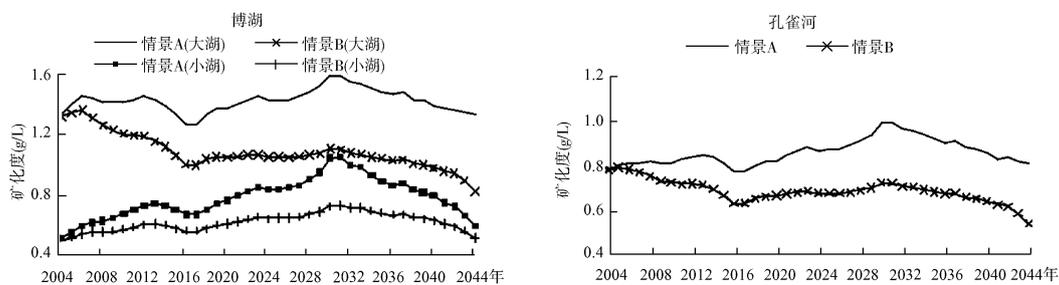


图 6 博湖湖水和孔雀河入流矿化度预测曲线

Fig.6 Forecast curve of Lake Bosten and inflow of the Kongque River

情景 B 多年平均入湖总水量  $30.4 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ , 比情景 A 增加近  $3.4 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ , 此为焉耆盆地农业节水使开都河入湖水量增加的结果. 情景 B 多年平均出湖总水量  $15.3 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ , 比情景 A 增加近  $3.0 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ , 孔雀河总入流量增加了  $3.6 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ , 可有力地保证孔雀河向塔里木河应急输水的需要. 出湖总水量的增加基本等于入湖总水量的增加与湖区总耗水量的减少之和. 情景 B 与情景 A 相比较, 湖区总耗水量变化不大, 减少约  $0.4 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ . 情景 B 入湖盐量  $97.9 \times 10^4 \text{t}/\text{a}$ , 比情景 A 减少  $2.3 \times 10^4 \text{t}/\text{a}$ , 入湖总水量的增加并未增加入湖盐量, 这是因为农田排水入湖量减少, 开都河入湖水量增加, 而开都河相对于农田排水其水矿化度低很多. 尽管情景 B 与情景 A 出湖总盐量几乎相当, 但由于情景 B 入湖总水量比情景 A 大且入湖水矿化度大大降低, 相应入湖总盐量减少, 故情景 B 比情景 A 年均脱盐量高, 约高  $1.8 \times 10^4 \text{t}/\text{a}$ . 情景 B 与情景 A 大湖区水矿化度分别介于  $0.84\text{--}1.38 \text{g/L}$  和  $1.14\text{--}1.61 \text{g/L}$  之间, 多年平均分别为  $1.10 \text{g/L}$  和  $1.44 \text{g/L}$ . 两情景相比较, 大湖区水平平均矿化度有所下降, 由  $1.44 \text{g/L}$  降至  $1.10 \text{g/L}$ . 情景 B 条件下, 到预测期的第 37 年(2040 年)大湖区水矿化度可降到  $1.00 \text{g/L}$ (图 6). 两种情景下, 大湖区水位介于  $1044.6\text{--}1047.3 \text{m}$ , 都处于允许的水位范围<sup>[15]</sup>之内. 小湖区水矿化度基本介于  $0.51\text{--}1.00 \text{g/L}$  之间(图 6), 水质总体上保持较好. 由图 6 看, 孔雀河水质主要受大湖区水质影响, 情景 B 的矿化度变幅比情景 A 小. 相对于情景 A, 由于情景 B 大湖区水质的好转, 孔雀河水质也有所好转, 其水平平均矿化度由情景 A 的  $0.87 \text{g/L}$  降至情景 B 的  $0.70 \text{g/L}$ . 尽管如此, 孔雀河的水质仍较差, 难于恢复至 1982 年以前的  $0.45 \text{g/L}$  以下. 不过, 在保证博湖水环境改善的前提下, 其水矿化度可调控到  $0.6 \text{g/L}$  以下.

#### 4 结论

由博湖水盐现状及情景预测分析知, 焉耆盆地人为活动对博湖水环境变化产生很大的影响. 1960–1980 年间, 焉耆盆地灌溉面积持续扩大, 灌溉引水量不断增加<sup>[10]</sup>, 加之这一时期灌区土壤盐渍化

治理而修渠排盐、解放一渠直接由开都河引水输入孔雀河等,致使开都河注入湖区的淡水量减少,高矿化度农田排水入湖量增加,导致博湖水位持续下降、湖水咸化加剧、芦苇面积萎缩.1980年代初至20世纪末,盆地内灌溉面积仍然持续扩大,但灌溉引水量逐年减少,另外1982年后解放一渠停止引水,致使入湖河水增加.同时,在宝浪苏木分水枢纽分水控制和西泵站扬水的共同作用下,博湖的水盐状况发生了转折性变化.在自然来水不增加、湖水位下降的情况下,湖水水质仍不至于深度恶化甚至有所好转<sup>[11]</sup>,这一情况充分表明,人为控制博湖的入出湖水量对博湖水质的改善起到了决定性的作用.但是,西泵站扬水入孔雀河也导致了孔雀河水质的恶化.因此,要改善孔雀河的水质,要么停止西泵站向孔雀河输水,要么改善博湖的水质.然而,博湖水的淡化又与焉耆盆地人为活动息息相关.预测结果进一步表明,焉耆盆地实施的一系列工程项目都可能影响到博湖水环境.情景B的结果说明,焉耆盆地近期规划实施的工程项目对博湖的水环境是有利的,博湖水环境向良性循环发展.

## 5 参考文献

- [1] 万洪秀,孙占东,王 润. 博斯腾湖水位变动对湿地生态环境的影响. 自然资源学报, 2006, 21(2): 260-266.
- [2] 赵景峰,秦大河,雷加强等. 新疆焉耆盆地和博斯腾湖盐量收支平衡的年变化. 干旱区地理, 2005, 28(3): 275-281.
- [3] 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.
- [4] 李卫红,袁 磊. 新疆博斯腾湖水盐变化及其影响因素探讨. 湖泊科学, 2002, 14(3): 223-227.
- [5] 王亚俊,李宇安,王彦国等. 20世纪50年代以来博斯腾湖水盐变化及趋势. 干旱区研究, 2005, 22(3): 355-360.
- [6] 热依汗古丽·瓦伊提. 博斯腾湖的水环境变化及其原因探讨. 新疆职业技术教育, 2006, (1): 71-73.
- [7] 程其畴. 博斯腾湖水质变化特点及其对策. 资源科学, 1987, (4): 56-66.
- [8] 董新光,弥爱娟,吴永光. 四水平衡模型在博斯腾湖流域水资源利用与保护中的应用. 资源科学, 2005, 27(3): 130-134.
- [9] 董新光,邓铭江,董 慧. 干旱内陆区水平衡基本原理与模型. 新疆农业大学学报, 2004, 27(1): 35-38.
- [10] 董新光,钟瑞森,刘 丰. 近50年博斯腾湖与孔雀河水盐演变过程. 科技导报, 2006, 24(1): 34-37.
- [11] 钟瑞森. 博斯腾湖流域水盐平衡模型研究[学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2005.
- [12] 成正才. 博斯腾湖水文特性. 水文, 1994, 33(5): 44-49.
- [13] Bastiaanssen WGM, Menenti M, Feddes RA *et al.* A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 1998, 212-213: 198-212.
- [14] 郭玉川,董新光. SEBAL模型在干旱区区域蒸散发估算中的应用. 遥感信息, 2007, (3): 75-78.
- [15] 夏 军,左其亭,邵民诚. 博斯腾湖水资源可持续利用——理论·方法·实践. 北京: 科学出版社, 2003.