

## 青海湖水量平衡分析与水资源优化配置研究\*

燕华云<sup>1</sup> 贾绍风<sup>2</sup>

(1: 青海省水文水资源勘测局, 西宁 810001; 2: 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**提 要** 在充分收集有关资料的基础上, 研究青海湖 1959-2000 年间降水、径流、蒸发、湖泊水位、地下水补给量的动态变化, 建立水量平衡分析方程. 青海湖水位在波动中持续下降, 42 年来, 年平均水位累计下降了 3.32 m, 平均每年下降了 0.079 m; 近年来, 下降的幅度减小. 同时, 青海湖储水量不断减少, 而湖区降水呈增加的趋势, 河川径流量、地下水的入湖补给量、蒸发量呈现下降的趋势. 根据青海湖水平衡分析计算结果, 预测 2010 年青海湖流域耗水量将达  $1.27 \times 10^8 \text{m}^3$ , 为维护生态平衡和社会经济持续发展, 需要跨流域调水量 (“引大济湖”)  $4.1 \times 10^8 \text{m}^3$ .

**关键词** 青海湖 水量平衡 水资源 优化配置

**分类号** P343.3

青海湖鸟岛自然保护区列入《湿地公约》的国际重要湿地名录, 是我国的 7 块国际湿地之一, 具有重要的生态、科学研究和经济价值. 在过去的半个世纪里, 由于自然和人为的影响, 流域的生态环境恶化, 湖水位波动下降, 引起了人们的广泛关注. 国内外关于青海湖的研究成果较多, 在 20 世纪 90 年代, 中国科学院兰州分院对青海湖水量平衡、水位变化趋势进行了研究, 所采用的资料系列为 1959-1988 年<sup>[1]</sup>. 为了使青海湖不成为第二个罗布泊, 在前人的研究基础上, 收集整理了大量的资料, 针对青海湖目前的自然、人文条件下, 就减缓湖水位下降、重建生态环境需跨流域调水量进行了重点研究. 应用 Kendall 秩次相关法和滑动均值法分析 1959-2000 年青海湖水平衡要素的量和变化趋势; 预测流域内社会经济发展和生态环境建设的需水量; 从水资源持续利用和维护青海湖的生态环境的角度, 提出跨流域调水量, 实施水资源的优化配置. 为协调人与自然的用水矛盾、减缓青海湖萎缩的速度提供依据.

### 1 流域概况

青海湖流域 位于青藏高原东北隅, 湖区介于  $97^{\circ} 50' - 101^{\circ} 20' \text{E}$ ,  $36^{\circ} 15' - 38^{\circ} 20' \text{N}$  间, 流域面积  $29661 \text{km}^2$ . 流域地势为西北高东南低, 形成了四周群山环抱的封闭式的山间内陆盆地, 湖南为青海南山, 东为日月山, 西为阿木尼尼库山, 北面为大通山, 山区面积约占流域面积的 68.6%; 河谷与平原面积较小, 为总面积的 31.4%. 山势陡峻、沟谷

\* 中国科学院知识创新项目 (KXCX1-10-03) 资助.

2002-03-05 收稿. 2002-07-16 收修改稿. 燕华云, 男, 1966 年生, 工程师, email: yhy21@sohu.com.

密布并多有冰蚀地形<sup>[1]</sup>.

青海湖湖泊水域位于流域的东南部,形似梨状,长轴走向为北西西向,东西长约109km,南北宽约65km,周长约360km.湖水呈弱碱性,pH值为9.23,相对密度为1.011g/cm<sup>3</sup>,含盐量为14.134g/l<sup>[1]</sup>.湖中岛屿有两处:一为海心山,一为三块石;蛋岛、鸟岛已与陆地相连不成其为岛.青海湖东面有四个子湖,由北而南分别是尕斯库勒湖、新尕斯库勒湖、海晏湾和耳海.

青海湖流域2000年底拥有人口9.72万人,其中农村人口7.41万人,占总人口的76%,人口密度3.3人/km<sup>2</sup>.各类牲畜共302.86万头(只),其中大牲畜34.78万头、猪3.33万头、小牲畜264.75万只.年末耕地面积约20000hm<sup>2</sup>,其中灌溉面积11400hm<sup>2</sup>.主要的农作物有小麦、青稞、燕麦、豌豆及青饲料等,以油菜、青稞占主导地位,年产粮食逾3600t.工业规模不大,工业产值仅1.19亿元.交通、医疗卫生、文化生活还比较落后.

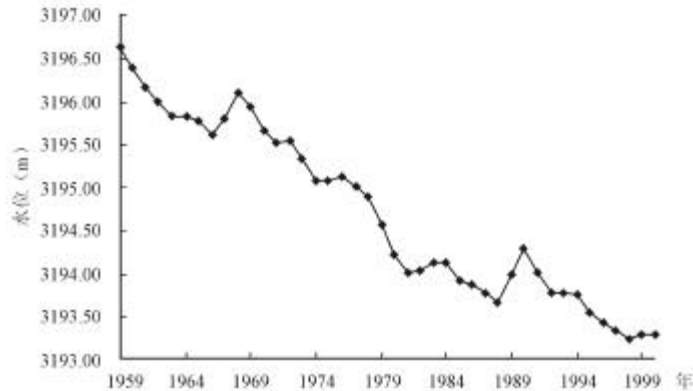


图1 青海湖水位过程线(1959-2000年)

Fig.1 Water level of Qinghai Lake, 1959-2000

## 2 青海湖水位变化趋势分析

据历年青海湖水位观测资料,一年之中青海湖水位变化可分为4个时段<sup>[1]</sup>.第一时段为1-4月,湖水位相对稳定期,此时湖面结冰,水温低,蒸发量小,水量收支基本平衡.第二时段为6-8月,湖水位上升期,降水量、河川径流量都比较大,补给量大于排泄量.第三时段为10-12月,湖水位下降期,来水小于湖水面蒸发量.第四时段为5、9月份,系湖水位过渡的阶段.

湖水位年际变化的主要特点是少数年份水位上升,总体上呈下降的趋势.据观测资料,青海湖2000年平均水位3193.30m,相应湖面面积4236.6km<sup>2</sup>.1959-2000年湖水位下降3.32m;平均每年下降0.079m;点绘器测以来青海湖的水位过程线图(图1),由图1可以看出近十年来湖水位的下降幅度有所变缓.

## 3 青海湖水量平衡要素的动态变化

青海湖来水量主要包括湖面降水、地表水入湖补给和地下水入湖补给三部分.耗水量主要是青海湖水面蒸发损失.建立水平衡方程:

$$E_{湖} = P + R_s + R_g \pm \Delta W$$

式中,  $E_{湖}$  为湖水面蒸发量,  $P$  为湖面降水量,  $R_s$  为地表水入湖补给量,  $R_g$  为地下水入湖补给量,  $\Delta W$  为湖水储量变量.

### 3.1 蒸发

水面蒸发是青海湖水量平衡方程中的唯一支出项, 其大小主要取决于气温、风速、饱和差、气压、太阳辐射等. 青海湖流域多年平均水面蒸发量在 1000-2000mm(20cm 口径蒸发皿)之间, 自东向西递增; 蒸发年内分配不均, 6-9 月份占全年蒸发量的 60%以上; 年际变化小, 年最大与年最小蒸发量的比值为 1.5,  $C_v$  值一般在 0.10-0.15 之间. 选择代表站一下社水位站实测的蒸发资料进行趋势能发能趋势研究采用 Kendall 秩次相关法分析, 有 95%的保证率确信下降趋势显著. 从 10 年滑动均值等值线图(图 2)上可以清楚地看到这一点, 从上世纪 60 年代到 80 年代下降的幅度比较大, 90 年代虽略有回升, 总体下降的趋势比较明显. 将环湖各站的水面蒸发观测值(20cm 或 E601)折算为大水体的水面蒸发量<sup>[2]</sup>, 计算青海湖多年平均水面蒸发量为  $40.5 \times 10^8 m^3$ .



图 2 下社水文站(20cm)蒸发量 10 年滑动平均  
Fig.2 10-year-running-mean evaporation(20cm), Xiasha

### 3.2 降水

青海湖流域降水量较其它内陆地区丰沛, 多年平均降水量在 300-550mm 之间. 地区间分布不均, 由湖滨向四周山区递增, 由湖南向湖北部递增, 形成北部山区和黑马河流域两个高值区, 湖的东南部为低值区. 降水年内分配不均, 5-9 月份降水量占全年的 85%以上; 降水年际变化小, 降水量变差系数  $C_v$  值一般在 0.15-0.30 之间, 年最大与最小降水量之比为 2. 对代表站布哈河口站和哈素站的年降水量进行 Kendall 秩次相关检验分析, 有 95%的保证率确信上升趋势显著. 从绘出的年滑动均值等值线图(图 3)上可以看出自 50 年代到 80 年代呈缓慢上升, 90 年代有小幅回落(图 3). 根据环湖水文站、雨量站的历年观测资料, 采用算术平均法和面积加权法计算青海湖多年平均水面降水量  $15.61 \times 10^8 m^3$ .



图 3 布哈河口站年降水 10 年滑动平均线  
Fig.3 10-year-running-mean rainfall of Buhache St.

### 3.3 地表水入湖补给量

青海湖流域径流深一般在 50-175mm 之间. 径流深区域分布特点由西北向东南递减, 由山区向湖滨递减; 北部山区降水量较大, 相应的径流深也比较大, 在 150-175mm 之间; 黑马河地区径流深为 100mm 左右; 湖东地区一般在 50mm 以下, 其他地区多在 50-100mm.

根据流域内各水文站的实测资料分析计算青海湖流域多年平均径流量  $16.03 \times 10^8 m^3$ .

布哈河口水文站集水面积占青海湖山丘区面积的 62.5%，径流量占青海湖流域的 48.3%，因此，选布哈河水文站为代表站进行分析研究。从该站的年径流量十年滑动均值等值线图（图 4）上不难看出：年径流量呈下降的趋势。采用 Kendall I 秩次相关检验，有 80% 的保证率确信布哈河年径流下降趋势显著。径流呈下降的态势与其总补给源降水的变化趋势相反，原因可能与降水过程发生变化，形成径流的有效降水减少有关；此外，生态环境恶化，水源的涵养能力下降，加之地形平坦，陆地蒸发量增大。需要在今后的工作中进一步论证。

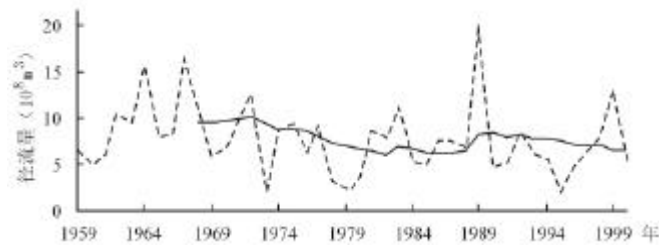


图 4 布哈河口站年径流量 10 年滑动平均线

Fig.4 10-year-running-mean runoff of Buhaha St.

证率确信布哈河年径流下降趋势显著。径流呈下降的态势与其总补给源降水的变化趋势相反，原因可能与降水过程发生变化，形成径流的有效降水减少有关；此外，生态环境恶化，水源的涵养能力下降，加之地形平坦，陆地蒸发量增大。需要在今后的工作中进一步论证。

地表水资源中，一部分水量

因人类活动被消耗掉，所以地表水的入湖补给量不包括这部分水量。根据青海湖历年用水量和各行业耗水率估算耗水量，多年平均耗水  $0.7732 \times 10^8 \text{m}^3$ ，扣除耗水量，地表水多年平均入湖补给量  $15.26 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

### 3.4 青海湖储量的变化

青海湖水储量的变化是湖泊水量平衡的具体反映。根据青海湖沙陀寺水位站的实测资料，从青海湖水位-容积关系图上查出，湖水的储量由 1959 年初的  $865.8 \times 10^8 \text{m}^3$  减少到 2000 年底的  $715.93 \times 10^8 \text{m}^3$ ，累计减少了  $149.9 \times 10^8 \text{m}^3$ ，平均每年减少  $3.60 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

### 3.5 地下水入湖补给量

青海湖入湖的地下径流主要受降水、地表水、河床潜流、山前侧渗等补给及青海湖水位的升降的影响，年际变化比较大。入湖的地下径流量主要包括平原区地下水中的河床潜流补给量、山前侧渗补给量、降水入渗补给量三部分之和，扣除潜水蒸发、地下水开采量之后的水量。

地下水的入湖补给量难以测量，根据水量平衡方程和其它平衡要素进行计算。虽然降水、蒸发、地表水三个水平衡要素的计算结果还存在一定的误差，但它们是根据多年实测值计算出来的，大体上反映了客观实际情况。计算结果表明多年平均地下水入湖补给量  $6.03 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

### 3.6 水量平衡分析结果

1959 年-2000 年，多年平均入湖的地表水资源量  $15.26 \times 10^8 \text{m}^3$ ，湖面降水量  $15.61 \times 10^8 \text{m}^3$ ，地下水的入湖补给量  $6.03 \times 10^8 \text{m}^3$ ，湖泊水面蒸发量  $40.5 \times 10^8 \text{m}^3$ ，平均每年青海湖水量减少了  $3.60 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

## 4 水资源优化配置

青海湖是我国最大的内陆微咸水湖，驰名海内外。近百年来，特别是有水文记载以来，湖水持续下降，水面积减少，著名的青海湖鸟岛已与陆地连成一片，鸟类赖以繁衍生息的场所遭到严重的破坏，鸟类因受陆地野生动物的袭扰，数量下降；湖水质的咸化、矿化

度的提高对鱼类的影响将是灭绝性的。湖水位下降造成湖滨沼泽干枯,水生植物大量死亡,生存期间的动物被迫迁徙;更为严重的是造成部分湖底裸露,表面覆盖的松散沙砾层成为沙源,导致沙漠化、荒漠化面积扩大。上述生态环境问题产生的根本原因是资源性缺水与不合理利用造成的,必须进行跨流域调水及水资源的优化配置。

#### 4.1 水资源开发利用现状及预测

青海湖流域到目前已修建农灌渠道 40 条、草原灌溉渠道约 30 条,人畜引水管道约 50 条,机电井 52 眼。水利工程比较单一,规模亦较小。根据调查统计,2000 年总用水量  $1.00 \times 10^8 \text{m}^3$ ,其中农田灌溉用水量  $0.83 \times 10^8 \text{m}^3$ ,占总用水量的 83%;草原灌溉用水量  $0.0171 \times 10^8 \text{m}^3$ ,占 1.7%;工业用水量  $0.0276 \times 10^8 \text{m}^3$ ,占 2.8%;城镇生活用水量  $0.0095 \times 10^8 \text{m}^3$ ,占 0.9%;农村生活用水量  $0.1159 \times 10^8 \text{m}^3$ ,占 11.6%。从上述可以看出,灌溉用水仍占用水的绝大部分,其次是农村生活用水,城镇工业和生活用水占的比例则很小。水资源开发利用程度比较低,2000 年地表水的实际开发利用程度为 7.9%;水资源浪费现象比较严重,渠系水利用系数仅为 0.3-0.4,大水漫灌、跑水、漏水的现象仍然存在;水污染不容忽视,虽然工业用水量不大,但废水多未经处理直接排放,对青海湖产生不利影响。

据《青海省水利“十五”计划》和《青海省国民经济和社会发展“十五”计划纲要》预测,2010 年青海湖流域用水量增加的幅度不大,人类生产生活用水量达到  $1.24 \times 10^8 \text{m}^3$ ,耗水量  $0.93 \times 10^8 \text{m}^3$ ;另据青海湖生态建设规划,青海湖流域生态环境建设拟种草  $19.53 \times 10^4 \text{hm}^2$ 、植树  $5.47 \times 10^4 \text{hm}^2$ ,对其中的饲草料地、经济林和生态林进行灌溉,预计需水量约  $0.45 \times 10^8 \text{m}^3$ ,耗水量  $0.34 \times 10^8 \text{m}^3$ 。青海湖工农业生产和生态环境建设总用水量  $1.69 \times 10^8 \text{m}^3$ ,耗水量达到  $1.27 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

#### 4.2 跨流域调水量

青海湖为内陆湖,流域内不能解决水资源短缺的问题,必须靠流域外调水才能从根本上遏止湖水位下降,恢复生态环境的良性循环;邻近的大通河水量比较丰富。见于此,在水量平衡分析的基础上,考虑国民经济各部门生产和人民生活用水量、生态环境建设如人工种草植树等用水量的现状和未来的发展,研究青海湖多年平均的情况下的跨流域引水量(“引大济湖”工程的引水量)。计算公式:

$$W = E + W_{\text{耗}} - P - R_s - R_g$$

式中,  $W$  为跨流域调水量,  $W_{\text{耗}}$  为流域内人类活动耗水量。

根据水量平衡分析结果,天然状态下,缺水  $2.83 \times 10^8 \text{m}^3$  (不考虑人类生产生活的耗水量);计入国民经济建设和人类生活耗水量约  $0.93 \times 10^8 \text{m}^3$  和人工生态环境建设耗水量  $0.34 \times 10^8 \text{m}^3$ ,青海湖缺水即生态环境重建需跨流域调水量  $4.1 \times 10^8 \text{m}^3$ 。值得注意的是这里只研究四十余年青海湖来水、水面蒸发量的平均情况,对长尺度的变化还缺乏足够的资料加以论证。

#### 4.3 水资源的配置

青海湖水资源优化配置主要协调人类社会用水与生态环境用水,解决两大用户之间的矛盾;另外,还要充分利用好外流域调来的水量。协调人类与自然的用水矛盾的关键是采取措施,避免人类用水的大副增加和对水质的污染。人类社会用水到 2010 年预测达到  $1.69 \times 10^8 \text{m}^3$ ,其中包括生态环境重建用水量  $0.45 \times 10^8 \text{m}^3$ ;今后,社会经济发展,重点在提高水的利用效率;在鱼类的产卵期,尽量减少灌溉用水,保证鱼类繁衍的需要;限制工业

用水, 提高废水的处理率, 实现达标排放. 跨流域调水重点解决鱼类产卵期、集中灌溉期、枯水期三个时期水资源短缺的问题, 这三个时期跨流域引水量大一些.

## 5 结论

青海湖流域水资源开发利用水平不高, 2000 年总用水量  $1.00 \times 10^8 \text{m}^3$ , 其中农田灌溉用水量占 83%, 工业、城镇生活用水占的比例较小. 耗水量  $0.75 \times 10^8 \text{m}^3$ , 水资源开发利用中浪费、水污染现象仍然存在.

青海湖水位在波动中持续下降, 自 1959 年至 2000 年, 年平均水位共下降了 3.32 m, 平均每年下降了 0.079 m. 近年来, 下降的幅度减小.

青海湖储水量不断减少. 多年平均入湖的地表水资源量  $15.26 \times 10^8 \text{m}^3$ , 湖面降水量  $15.61 \times 10^8 \text{m}^3$ , 地下水的入湖补给量  $6.03 \times 10^8 \text{m}^3$ , 湖泊水面蒸发量  $40.5 \times 10^8 \text{m}^3$ , 平均每年青海湖水量减少了  $3.60 \times 10^8 \text{m}^3$ .

青海湖水平衡要素变化趋势明显. 湖区降水呈增加的趋势, 河川径流量、地下水的入湖补给量、蒸发量呈现下降的趋势.

根据青海湖水平衡分析计算结果, 预测 2010 年青海湖流域国民经济各部门和生态环境建设的用水量分别为  $1.24 \times 10^8 \text{m}^3$ 、 $0.45 \times 10^8 \text{m}^3$ , 耗水量合计  $1.27 \times 10^8 \text{m}^3$ . 计算出青海湖生态环境重建需跨流域调水量 (“引大济湖” 水量)  $4.1 \times 10^8 \text{m}^3$ .

## 参 考 文 献

- 1 中国科学院兰州分院, 中国科学院西部资源环境研究中心. 青海湖近代环境的演化和预测. 北京: 科学出版社, 1994: 71-73
- 2 曲耀光. 青海湖水量平衡及水位变化预测. 湖泊科学, 1994, 6 (4): 298-307

## Water Balance and Water Resources Allocation of Qinghai Lake

YAN Huayun<sup>1</sup> & JIA Shaofeng<sup>2</sup>

(1: Qinghai Provincial Surveying Bureau of Hydrology and Water Resources, Xining 810001, P.R. China;

2: Institut of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, P.R. China)

### Abstract

On the basis of the observed hydrological data in Qinghai Lake Basin, 1959-2000, we studied the dynamic changes of precipitation, runoff, evaporation, lake water level and the supplement of ground water of Qinghai Lake for the past forty years. Estimates revealed that a 3.32m-drop occurred during 1959-2000, resulting an annual decrease of water quantity of  $3.60 \times 10^8 \text{m}^3$ . Moreover, the amount of interbasin diversion required for maintaining ecologic balance and social economic sustainable development was discussed, an annual quantity of  $4.1 \times 10^8 \text{m}^3$  could meet the needs for water resources allocation optimization.

**Keywords:** Qinghai Lake; water-balance; water resources; optimal allocation