

17-24

青海湖水位下降与趋势预测

杨贵林 刘国东

(青海省水文总站, 西宁 810001)

p332.3

提要 青海湖是我国最大的内陆半咸水湖,近百年来,特别是有水文记录的30多年来,湖水位持续下降,已引起各有关方面的关注。本文根据水量平衡原理,对湖水位下降的原因进行了探讨:1. 青海湖水位差与入湖补给量、耗水量关系密切,其复相关系数高达0.95;2. 青海湖多年平均亏水量为 $4.5 \times 10^8 \text{m}^3$,累积亏水量与湖水位变化趋势完全一致;3. 在总耗水量中,人为耗水仅占1%左右。因此,湖水位下降的主要原因是自然因素。此外,本文利用相关分析法,灰色系统、叠加模型,分别对湖水位进行了预测,结果表明相关分析和叠加模型效果较好,1989年实测值与预测值较为接近。最后对未来湖水位下降的极限做了探讨。

关键词 青海湖 半咸水湖 水位变化 预测

青海湖位于青藏高原东北端的青海省境内,是我国最大的内陆半咸水湖。1988年平均水位3193.52m,面积4282.3 km^2 ,容积 $738.8 \times 10^8 \text{m}^3$,补给系数6.9。青海湖就象一颗灿烂的明珠,镶嵌在青藏高原,给高原增添了魅力。但是,近百年来,特别是有水文记载的30多年来青海湖水位持续下降,面积逐渐减少,已带来一系列生态环境问题。本文试图通过30多年的水文气象资料,从水量平衡入手,研究湖水位下降的原因,并对未来湖水位进行预测。

一、青海湖水位下降原因的探讨

(一)水文特征

青海湖深居内陆,远离海洋,其水汽来源主要来自印度洋孟加拉湾上空的西南暖湿气流,其次是太平洋副热带高压和东南沿海台风输送的暖湿气流,流域内平均降水量在350—550mm之间。降水量时空分布不均,由湖盆向四周山区递增,全年降水量主要集中在夏秋两季。5—9月降水量占全年降水量的85%以上。降水量年际变化不大,变差系数 C_v 值0.15—0.30,年最大降水量与最小降水量之比值为2.5左右。

蒸发是流域及其湖泊的主要耗水途径,青海湖流域由于气候干燥、多风,故蒸发量较大,年平均蒸发量在800—1100mm之间。蒸发量时空分布也不均匀,盆地蒸发量大,山区蒸发量小,6—9月蒸发量占全年蒸发量的60%以上,蒸发量年际变化较小,变差系数 C_v 值0.10—0.15之间。

青海湖流域河网呈明显不对称分布,湖西北河网发育,径流量大,东南部河网稀疏,多为季节性河流,径流量亦小,流域面积大于 5km^2 的入湖河流有50余条,主要有布哈河、沙柳河、哈尔盖河、乌哈阿兰河和黑马河等。径流深度在50—175mm之间,其高值区有两个,一个在北部山区,径流深为175mm,另一个在湖南的黑马河地区,径流深为100mm,径流最小

的为湖东地区,其值小于 50mm。径流量年内分配很不均匀,5—9 月占全年的 85%以上,年际变化亦较大,变差系数 C_v 值在 0.40—0.65 之间。

(二)水量平衡计算

青海湖入湖补给量由三部分组成,即地表径流、地下径流和湖面降水补给量。经计算,多年平均值为 $37.03 \times 10^8 \text{m}^3$,其中 1967 年最大,为 $58.33 \times 10^8 \text{m}^3$,1973 年最小,为 $23.45 \times 10^8 \text{m}^3$ 。青海湖耗水量亦由三部分组成,即湖面蒸发、人为耗水及湖周潜水蒸发量。经计算,多年平均耗水量为 $41.38 \times 10^8 \text{m}^3$,其中 1969 年最大,为 $47.47 \times 10^8 \text{m}^3$,1977 年最小,为 $34.95 \times 10^8 \text{m}^3$ 。由此可见,青海湖多年平均耗水量大于入湖补给量,水量平衡差为 $4.35 \times 10^8 \text{m}^3$,与直接由水位、容积关系曲线查算的 $4.50 \times 10^8 \text{m}^3$ 十分接近。

(三)湖水位变化规律

青海湖水位年内变化不均,年变幅一般在 0.2—0.5m 之间,1—4 月变幅较小,水位从 5 月开始回升,8 月份达到最高值,尔后开始下降,通常 12 月份为全年最低值。30 年来,1967 年湖水位年变幅最大,为 0.66m,1966 年最小,为 0.23m。青海湖水位年内变幅见图 1。

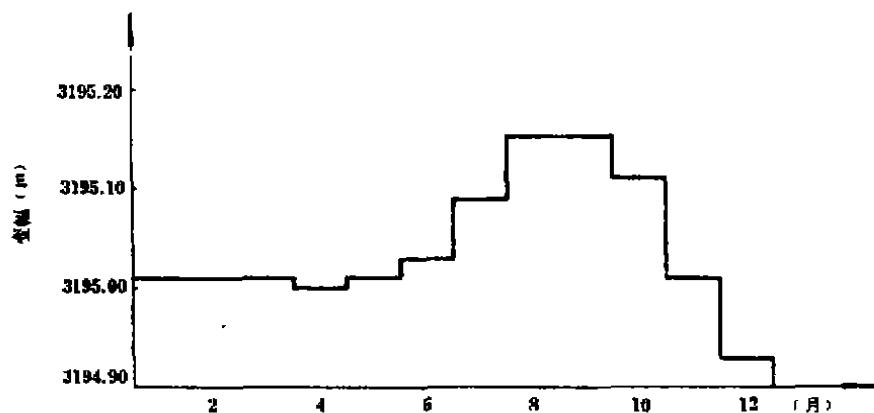


图 1 青海湖沙陀寺站水位年内变幅图

Fig.1 The annual fluctuation of lake level in 1967 from Sha Tu Si hydrological station

青海湖水位年际变化较大,30 年来,湖水位上升的有 7 年,持平的 1 年,其余年份均下降。在上升的 7 年中,上升幅度最大的为 1968 年(0.32m),上升幅度最小的为 1984 年(0.01m)。在下降年份中,下降幅度最大的为 1980 年(0.34m),下降幅度最小的为 1964 年(0.01m)。由此可见,湖水位下降年份多于上升年份,且下降值大于上升值,故湖水位总的趋势在下降。据统计,自 1959—1988 年,湖水位共下降 2.96m,平均每年下降 0.102m。青海湖水位过程线见图 2。

与湖水位一样,30 年来,青海湖盈水 7 年,持平的 1 年,其余年份均亏水。在盈水的 7 年中,1968 年盈水量最多,为 $14.46 \times 10^8 \text{m}^3$,1984 年盈水量最少,为 $0.44 \times 10^8 \text{m}^3$ 。在亏水年份中,1980 年亏水量最多,为 $14.89 \times 10^8 \text{m}^3$,1964 年亏水量最少,为 $0.45 \times 10^8 \text{m}^3$ 。据统计,自 1959—1988 年青海湖共亏水 $130.5 \times 10^8 \text{m}^3$,平均为年亏水 $4.50 \times 10^8 \text{m}^3$ 。由此可见,30 年中,青海湖亏水年份多于盈水年份,亏水量大于盈水量,其累计亏水量呈递增趋势。

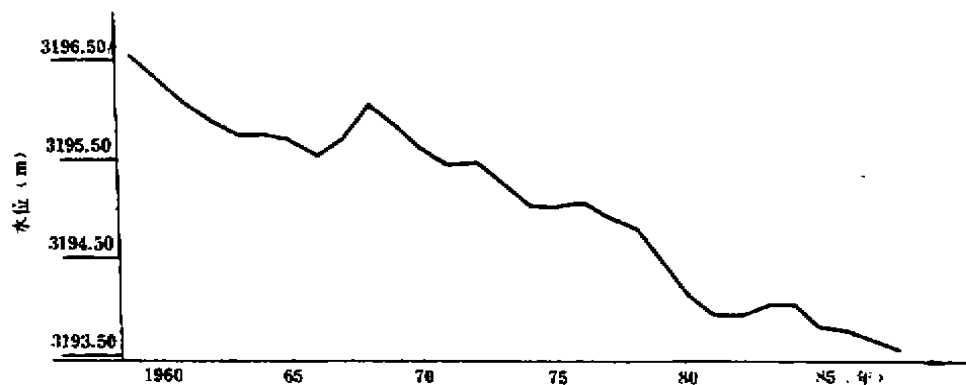


图2 青海湖沙陀寺站水位年际变化图(1959—1988)

Fig. 2 Fluctuation of water level from Sha Tuo Si hydrological station, Qinghai Lake, 1959—1988

(四)湖水位与入湖补给量、耗水量的关系

因湖水位处于下降趋势,用它难于直接与入湖补给量、耗水量建立关系,因此,在计算中,我们将年末水位减年初水位,然后得出一组水位差,用它与入湖补给量、耗水量进行复相关分析(图3)。可见,湖水位差与入湖补给量、耗水量关系十分密切,当入湖补给量大,耗水量相对较小时,湖水位差为正值;反之则为负值。经多元回归分析,湖水位差 $Y(m)$ 与入湖补给量 $x_1(10^8 m^3)$ 、耗水量 $x_2(10^8 m^3)$ 复相关系数高达 0.95,方程式如下:

$$Y = -0.3969 + 0.0215X_1 - 0.0121X_2 \quad (1)$$

(五)湖水位下降的原因

通过以上分析得知,湖水位的下降实质是水量的减少。当入湖补给量大、耗水量相对较小时,湖水位就上升,反之湖水位则下降。在耗水量中,人为耗水仅占 1%左右,因此,湖水位下降的主要原因是自然因素造成的。

二、青海湖水位预测

30 年资料研究,揭示了青海湖水位降的原因,那么,未来水位发展趋势如何,是制定流域环境保护对策和拟定调水量的依据。以下采用三种方法来探讨青海湖水位的预测。

(一)相关分析

在 30 年观测资料的基础上,我们进行了青海湖水位与湖面蒸发量、蒸发强度、入湖补给量、耗水量、水量均衡差以及累加补给量之间的线性、非线性相关分析。虽然在一定置信度(如 $\alpha=1\%$)下,某些因素的相关系数或其绝对值大于临界相关系数 K^* ,但超出值甚小,只有湖水位与前一年湖水累加亏水量的线性相关令人满意,相关系数 $r=0.972$,大于 $K^{0.01}=0.47$,图 2 和图 4 也表明二者曲线非常相似,其回归方程为:

$$H_{j+1} = 3916.506 + 0.0194R_j, \quad (j = 1, 2, 3, \dots, 29 + m) \quad (2)$$

式中, R_j ——入湖累加补给量($10^8 m^3$); H_j ——青海湖水位; H_1 ——常数(等于 3196.55m)。

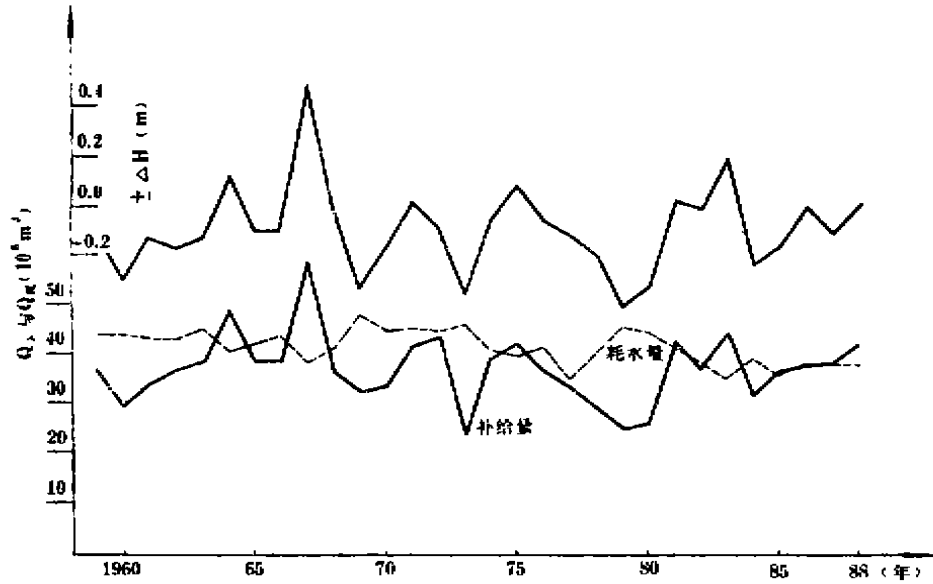


图3 青海湖水位差与入湖补给量、耗水量过程线图

Fig. 3 The process curves of water level variation, supply and consumption of the lake water

式(2)的计算值与实测值比较,其后验差比值 $C=0.289$,小误差概率 $P=1.0$,说明具有较高的预测精度。当 $j \geq 31$ 时, R_{ij} 为预测值,由下式计算:

$$R_{ij} = \sum_{i=31}^j (R_i - D_A - E_i F_i \cdot 10^{-5}) + R_{i30} \quad (3)$$

式中, R_i 、 E_i 、 F_i 分别是(1958+i)年的入湖补给量(10^8m^3),蒸发强度(mm)和湖面面积(km^2); D_A 是多年平均人为耗水量,等于 $0.48 \times 10^8 (\text{m}^3)$, $R_{i30} = -130.50 \times 10^8 (\text{m}^3)$, m 为预测年限,取 62 年即到 2050 年。湖水面积 F 是水位的函数,由实测数据得到 F 与水位 H 具有如下线性关系:

$$F = 2928.566 + 97.8312(H - 3180) \quad (4)$$

相关系数 $r=0.9967 > K_{0.01}^{0.1} = 0.765$

采用灰色系统 DM(1,1)模型,建立入湖补给量 R 的预测公式如下:

$$R_{i+1} = -24886.82e^{0.00152i} - 24923.19 \quad (i = 0, 1, 2, \dots, 29 + m) \quad (5)$$

$$R_{i+1} = R'_{i+1} - R'_i \quad (i = 1, 2, \dots, 29 + m) \quad (6)$$

$$R_1 = R'_1$$

采用五阶自回归模型,建立蒸发强度 E 的预测公式如下:

$$E_i = 0.4716E_{i-1} - 0.2096E_{i-2} + 0.2173E_{i-3} - 0.3697E_{i-4} + 0.0155E_{i-5} \quad (i = 6, 7, \dots, 30 + m) \quad (7)$$

公式(2)~(7)构成了相关分析法预测水位系统,2050年以前的预测曲线见图5。

(二)时间序列分析

青海湖水位下降是各种因素综合影响的结果,由于影响因素的种类和影响程度难以确定,上述相关模型预测的水位不可避免地会产生偏差,因此,利用其自身序列进行预测会更



图4 青海湖1959—1988年逐年累加亏水量曲线图

Fig. 4 The annual accumulative shortage of water balance from 1959 to 1988, Qinghai Lake

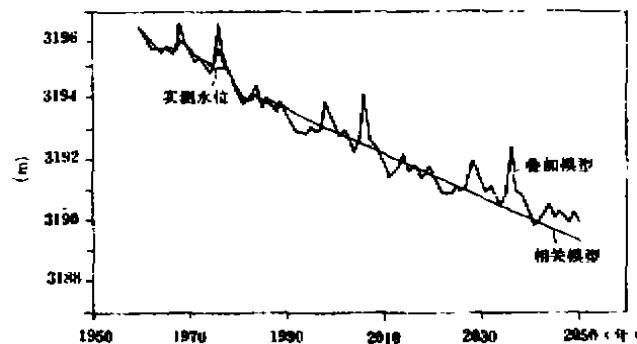


图5 相关分析与叠加模型预测的水位曲线

Fig. 5 The predicted water level from relative analysis and addition model

接近实际。

1. 灰色模型

由30年的已知水位序列,采用灰色系统的DW(1,1)模型直接建立水位预测公式如下:

$$H'_{i+1} = -9605.64e^{-0.001004i} + 9615.298 \quad (i = 0, 1, \dots, 30 + m) \quad (8)$$

$$H_{i+1} = 10(H'_{i+1} - H'_i) + 3100 \quad (i = 1, 2, \dots, 30 + m) \quad (9)$$

$$H_i = H'_i$$

该公式预测的后验差比值 $C=0.368$,小误差概率 $P=1.0$,预测精度尚好。2000年以前预测值列于表2。

2. 叠加模型

根据轮次检验,30年的水位序列属非平稳序列,因此,首先对序列进行分解:

(1)模型分解 设已知水位序列为 $H'(t)$ ($t=1, 2, \dots, 30$)

①趋势成分

通过试算,当取指数趋势时, H' 与 t 的相关系数最大, $r=0.9439$,即:

$$D(t) = 10.2e^{-0.0114t} + 3186.5 \quad (t = 1, 2, \dots, 30) \quad (10)$$

②主周期

$$\text{令 } F'(t) = H'(t) - D(t) \quad (t = 1, 2, \dots, 30)$$

对 $F'(t)$ 作自相关分析, 当滑动间隔 t 为 12 时, 自相关系数最大, 为 $-0.613 (> K^{0.01} = 0.59)$, 因此, $F'(t)$ 存在两个主周期(12 年), 得到下述谐波函数:

$$F(t) = 4.471 \times 10^{-3} - 0.2748 \cos\left(\frac{\pi}{15}t\right) - 0.0208 \sin\left(\frac{\pi}{15}t\right) + 0.1288 \cos\left(\frac{\pi}{15}t\right) - 0.0306 \sin\left(\frac{2\pi}{15}t\right) \quad (t = 1, 2, \dots, 30) \quad (11)$$

拟合优度 $u = 1.0$

③隐周期

令 $P'(t) = F'(t) - F(t)$ ($t = 1, 2, \dots, 30$), 构成 $P'(t)$ 序列, 首先取波数 $K = 30$, 得到

$$P(t) = a_0 + \sum_{j=1}^K [a_j \cos\left(\frac{\pi j}{15}t\right) + b_j \sin\left(\frac{\pi j}{15}t\right)] \quad (t = 1, 2, \dots, 30) \quad (12)$$

其中, $a_0 = -1.0768 \times 10^{-3}$, 通过试算, 当取其中 19 个波数时, $P'(t) - P(t)$ 序列满足平稳性要求, 此时拟合优度 $u = 0.96$, 所取波数相应系数见表 1.

表 1 隐周期公式中的波数及相应系数

Tab. 1 Wave number and its coefficients in the unobvious cycling formula

波序 j	系 数		波序 j	系 数	
	a_j	b_j		a_j	b_j
27	0.1398	7.4183×10^{-2}	15	6.6468×10^{-2}	-1.9481×10^{-2}
3	0.1398	-7.4183×10^{-2}	5	4.5746×10^{-2}	4.3911×10^{-2}
4	-0.1345	4.7317×10^{-2}	25	4.5745×10^{-2}	-4.3911×10^{-2}
26	0.1345	-4.7317×10^{-2}	9	-3.2531×10^{-2}	5.2882×10^{-2}
8	7.1008×10^{-3}	-0.1055	21	-3.2531×10^{-2}	-5.2882×10^{-2}
22	7.1016×10^{-3}	0.1055	16	-5.0622×10^{-2}	-3.4759×10^{-2}
23	-1.5652×10^{-2}	-7.7831×10^{-2}	14	-5.0622×10^{-2}	3.4759×10^{-2}
7	-1.5651×10^{-2}	7.7831×10^{-2}	12	1.7622×10^{-2}	4.8441×10^{-2}
11	-7.1981×10^{-2}	-2.4418×10^{-2}	18	1.7622×10^{-2}	-4.8441×10^{-2}
19	-7.1981×10^{-2}	2.4418×10^{-2}			

④平稳序列

$$\text{令 } \varphi'(t) = P'(t) - P(t) \quad (t = 1, 2, \dots, 30)$$

得到 $\varphi'(t)$ 序列, 该序列的轮次数为 12, 满足平稳性要求, 按照 FPE(最终预报误差) 准则, 建立一阶自回归模型:

$$\varphi(t) = 0.2572\varphi(t-1) \quad (t = 2, 3, \dots, 30) \quad (13)$$

(2) 模型叠加 将以上四个模型叠加, 即构成水位 H 的预测公式:

$$H(t) = D(t) + F(t) + P(t) + \varphi(t) \quad (t = 30 + 1, 30 + 2, \dots, 30 + m) \quad (14)$$

后验差比值 $C = 0.274$, 小误差概率 $P = 1.0$, 预测精度较高, 2050 年以前水位预测曲线见图 5.

(三)小结

以上分别用三种方法对青海湖水位进行了预测, 灰色模型仅适于短期预测, 且偏差较

大,相关模型和叠加模型可进行中长期预测,由图 5 还可以看到,二者预测趋势也非常接近。基于样本仅 30 年,故 10 年之内的预测值基本可信,能够做为制定规划、对策的决策依据。表 2 是三个模型所预测的 2000 年以前的水位值,其中 1989 年实测水位为 3193.92m,与预测十分接近。

表 2 2000 年以前水位预测值

Tab. 2 Water level prediction before the year 2000

年份	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
相关	3193.82	3193.73	3193.64	3193.55	3193.46	3193.38	3193.31	3192.26	3193.17	3193.09	3193.02	3192.94
叠加	3193.89	3193.51	3193.21	3192.91	3192.89	3192.84	3193.07	3192.89	3192.98	3193.90	3193.46	3195.06
灰色	3193.62	3193.53	3193.44	3193.34	3193.25	3193.15	3193.06	3192.97	3192.87	3192.78	3192.69	3192.60

三、水位下降极限

从两个中长期预报模型的预测曲线来看,未来 60 年后青海湖水位仍将继续下降,但不会干涸。由前面讨论,青海湖水位下降的根本原因是入湖补给量小于耗水量所致,因此,当入湖补给量与耗水量达到平衡时,湖水位将不再下降,而保持在某个相对稳定的水位上下波动,这个水位即是水位下降的极限。要使补给量、耗水量达到相对平衡,在不增加补给量的前提下,就是减少耗水。青海湖是内陆封闭式湖泊,除蒸发、人为耗水外,无其它排泄途径、人为耗水量甚微。湖水位下降,必然引起湖水面积的减少,从而导致蒸发量减少。当湖面缩小到某个面积时,补给量与耗水量达到平衡时,水位相对稳定。所以,极限水位说到底还是湖面面积问题,根据水量平衡公式可得:

$$F_{\mp} = \frac{Q_{\text{地表}} + Q_{\text{地下}} - E_{\text{湖面}}}{E_{\text{湖面}} - P_{\text{湖面}}} \times 10^5 \quad (15)$$

式中, F_{\mp} ——湖水位达到相对稳定下的面积; $Q_{\text{地表}}$ ——青海湖多年平均地表径流量; $Q_{\text{地下}}$ ——青海湖多年平均地下径流量; $E_{\text{湖面}}$ ——湖面蒸发强度; $P_{\text{湖面}}$ ——湖面多年平均降水量。

将 30 年的计算成果代入(15)式,计算出湖水位达到相对稳定的湖面面积为 3550km², 对应湖水位是 3186.5m,湖水容积 464.9×10⁶m³。与 1988 年相比,湖面积减少 688km²,湖水位下降 7.12m,湖水容积减少 273.9×10⁶m³。

四、结 论

1. 青海湖水位下降的原因是自然因素造成的,为保护青海湖地区的生态环境和控制湖水位继续下降,必须进行跨流域调水,以增加入湖补给量。

2. 湖水位预测的三个模型,以相关模型和叠加模型较为合适。这两个模型预测的 2000 年以前的水位基本可信,可作为规划部门决策依据。

3. 如不增加补给量,在未来半个世纪里,青海湖水位仍将继续下降,但不会干涸,水位下降的极限为 3186.5m。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院兰州地质研究所等. 青海湖综合考察报告. 北京, 科学出版社, 1979.
[2] 施成熙、梁瑞驹. 陆地水文学原理. 北京, 中国工业出版社, 1964.

ON THE WATER LEVEL DECLINE AND ITS TENDENCY IN QINGHAI LAKE

Yang Guilin Liu Guodong

(General Hydrological Station of Qinghai Province, Xining 810001)

Abstract

Qinghai Lake is the largest inland brackish lake in China. Hydrological data show that in the past 100 years or so, especially in the recent 30 years and more the lake level has been declining. This phenomenon has been paid great attention to by the scientists. In the paper, authors try to elucidate the reasons of rapid decline of lake level on the basis of water balance principle. The results are as follows:

1. The fluctuation of the lake level is closely relative to the supply and loss of the lake water, with a multi-relative coefficient of 0.95.

2. The multi-annual average shortage of the lake water is 450 million m^3 , and the accumulative shortage of lake water has the same tendency as the fluctuation of the lake level.

3. The artificial consumption water occupies only about one percent of total loss. Therefore, the main reason for the falling of the lake level is no other than the natural factor. In addition, with the relative analysis, the grey system and the addition model, the future of the lake level is predicted.

Finally, the limit of the lake level decline is discussed.

Key words brackish lake, Qinghai Lake, water level decline