(4)

第4卷第3期 湖 泊 科 学 Vol.4,No.3
1992年9月 JOURNAL OF LAKE SCIENCES Sept.,1992

25-31

青海湖流域近六百年来的气候变化与湖水位下降原因[①]

周陆生 杨卫东

(青海省气象局,西宁 810001)

P461.5

提要 根据青海湖流域及其邻近地区树木年轮资料重建的历史时期气候资料序列,给出了流域近六百年来的主要冷、暖、干、湿期,并对器测时期的气候变化趋势作了分析。指出,近百年来气候暖干化是造成湖水位下降的主要原因;对于湖水位年际变化与前期降水影响系统、不同气候类型以及地面气象要素的关系作了统计分析。

关键词 青海湖流域 树木年轮 气候变化 水位

青海湖有水文记录以来一个明显的观测事实是:湖水位平均每年以10.2cm(1959—1988年)的速度急剧下降。已有研究[②]表明,人为活动直接总耗水量只占湖水平均亏损量的8.7%,所以人为直接耗水不是湖水位下降的主要原因。从目前的工作看,湖水位的变化主要受气候、水文等环境因素的综合影响,而气候的长期变化和短期波动则是引起水位变化的最重要的原因。

一、历史时期的气候变化

青海湖流域几百年来的气候变化研究因缺乏长期观测资料和文献记载,所以本文主要采用树木年轮方法来重建气候资料序列,划分主要的冷、暖、干、湿期,而用邻近边区的历史文献资料来印证研究的主要结果。

(一)树木年轮序列

1.样木及处理

1986、1988年夏和1989年初我们在青海湖流域及邻近林区进行采样,同时还采集了一些孤立木的样本。采集的树种主要是祁连圆柏,共采得49棵树,92个样本,各采集点均采复本。采样点及流域邻近地区的气象站位置见表1。

从表1平均敏感度($M\cdot S=\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n-1}\left|\frac{2(X_{i+1}-X_i)}{X_{i+1}+X_i}\right|$,$X_i$为年轮宽度,$n$为年轮总数)栏可以看出,样本包含的大气候信息比较丰富(M·S>0.2),年代也较长,最长的可达

① 本文曾得到施雅风、王苏民研究员的指导,徐瑞珍副研究员帮助计算树木年轮年表,在此深表感谢。参加本文工作的还有马钰、唐朝淑、陈鹤维。

② 周立华等。青海湖环湖地区人为活动与湖水位下降关系的研究。1991。

823 年、最短的也有 382 年。年轮宽度的测定，是在国家气象局气象科学院配备的年轮测量系统上完成。关于树木生长量的订正，由于每个样木的订正表达式及待定系数都不尽相同，在此不再一一给出。

表 1 采样点基本情况

Tab. 1 Basic conditions of sampling spots

地 点	经纬度	海 拔(m)	起止年代（按最长树龄）	平均敏感度
祁 连	38°07′N 100°24′E	3350—3400	1414—1985	0.220
乌 兰	37°03′N 98°31′E	3600—3700	1163—1985	0.283
天峻察汗诺	37°05′N 99°00′E	3600—3700	1258 —1988	0.450
青海湖石乃亥	36°48′N 99°35′E	3500—3600	1607—1988	0.286

经生长量订正之后，便可得到每个样本的年轮指数：$I_t = \frac{R_t}{Y_t}$，式中 R_t 为树轮的宽度、Y_t 为生长量订正值。将 I_t 按样木点求和，求得各个采集点的平均年轮指数序列即所谓年表。

2. 相关性分析

乌兰、察汗诺、石乃亥都与柴达木盆地东部相邻，属于干旱和半干旱气候类型，这些地方的树木生长状况的主要限制因子是降水；祁连属于凉温半湿润气候类型，热量状况决定着树木的生长状况。4 个采样点的年轮指数与流域内及邻近地区气象站 30 年左右的降水、气温相关分析揭示了这种关系（表 2、3）。可以看出，绝大多数都存在着正相关关系，而且不少都达到一定的显著性标准。由此，我们可以依据相关方程来重建流域的气候资料序列。

表 2 采样点年轮指数与年降水量相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between precipitation and tree ring index on the sampling spots

气象站 / 相关系数 / 样点	刚察		天峻		都兰		江西沟		铁卜加		海晏	
	R	R′	R	R′	R	R′	R	R′	R	R′	R	R′
乌 兰	0.289	0.318	0.206	0.255	0.364*	0.370*	0.382*	0.323	0.032	0.233	0.300	0.009
察汗诺	0.389*	0.337	0.434*	0.299	0.127	−0.020	0.291	0.324	0.217	0.231	0.182	0.021
石乃亥	0.451*	0.141	−0.005	−0.036	0.194	0.204	0.343	0.226	0.285	−0.010	0.252	0.147

注：R 与 R′ 分别为年轮指数与当年和前一年降水相关系数；“*”为通过 0.05 信度显著性标准。

表 3 祁连采样点年轮指数与年均气温相关系数

Tab. 3 Correlation coefficients between annual mean air temperature and tree ring index on the sampling spots

气象站	刚察		天峻		祁连		江西沟		铁卜加		海晏	
相关系数	R	R′	R	R′	R	R′	R	R′	R	R′	R	R′
	0.409*	0.237	0.259	0.121	0.165	0.418*	0.381*	0.436*	0.397*	0.371*	0.318	0.157

* 意义同表 2

3. 降水和气温资料序列的重建

可以用来恢复降水资料序列的年表有 3 个，由于乌兰年表样本数多达 24 个，且年表长

823 年,因此资料的可靠性、连续性方面优于其它 2 个年表。故分别用祁连和乌兰年表恢复青海湖流域历史时期的温度和降水资料序列。根据有关方程可以换算成距平序列,并作 50 年滑动平均,以分辨主要的气候变化时期。

分别对重建的温度和降水序列作功率谱分析,得出温度序列存在着 2.1、2.4、3.0、75、100、150 年等显著周期,而降水序列具有 2、80、100、133 年的显著周期。

(二)主要冷暖干湿期

图 1 为青海湖流域冷暖干湿期演变状况。可以看出,近六百年来青海湖流域大约有 5 个相对温暖和 4 个相对寒冷的时期。其中主要的温暖期是在 16 世纪、18 世纪末到 19 世纪前半期;主要的寒冷期是在 15 世纪后半期、17 世纪 40 年代到 18 世纪 30 年代。竺可桢对于公元 1400—1900 年这五百年的气候变化曾指出[1]:"温暖的冬季是在公元 1550—1600 年和 1770—1830 年间。寒冷的冬季是在公元 1470—1520、1620—1720 和 1840—1890 年间。"这分别与青海湖流域公元 1513—1602、1787—1850 年的暖期和 1448—1512、1647—1737、1851—1880 年的冷期相对应。

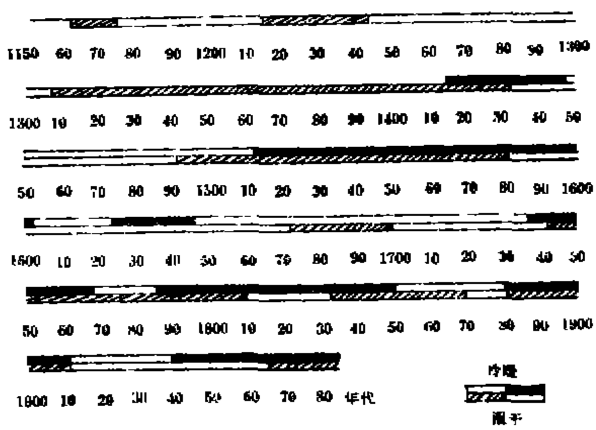

图 1　青海湖流域冷、暖、干、湿期

Fig. 1　Cold, warm, dry and wet periods in Qinghai Lake Basin

青海湖流域八百多年来大体上可分为 4 个相对湿润期和 4 个相对干燥期。干燥期为:1176—1308、1433—1492、1582—1742 和 1913—1966 年;湿润期为:1309—1432、1493—1581、1743—1912 年和 1967 年以后。

据史料① 记载,1582—1742 年共有灾情 24 条,其中旱象记载占总条数的 45.8%,涝的记载只占 12.5%,其余为大风、低温、虫灾和雹灾等记载,可见这一时期以旱象居多。1743—1912 年有关记载共 52 条,其中雨涝、洪灾占 44.2%、丰年占 26.9%,旱年仅占 11.5%,其它占 17.4%,可见这段时期降水偏多,主要矛盾是"洪涝"。1913—1966 年间,有关青海东部地区的记载丰富而又详细,按旱涝等级划分,除正常年景外,旱与偏旱等级年份为涝与偏涝等级年份的 1.53 倍。可见这一时期的偏旱占有一定的优势。

① 青海省气象科学研究所. 青海东部近五百年气候历史资料. 1978.

由以上史料印证情况看，用树木年轮资料划分的干湿期是可信的。综上所述，青海湖流域近六百年来的主要冷暖干湿期大致为：15世纪中、后期为冷干期；16世纪以暖湿期为主；17世纪到18世纪前期以冷干年份居多；18世纪中期到20世纪初又以暖湿为主导；20世纪前期以冷干为主，中期转为暖干，从60年代末至今基本维持着暖湿的气候。初略估计，这期间平均气温的绝对变化大约不超过1℃，年平均降水量变化不超过50mm。

二、器测时期的气候诊断分析

考虑到气象记录的长度和完整性，并兼顾到各个方位，在青海湖流域及邻近地区选刚察、天峻、茶卡、共和、湟源5站作为代表站。在统计方法上以年代为界作分段统计，并对要素作平滑处理（9年滑动平均）如表4、图2。现分别讨论气温、降水、蒸发变化趋势。

表4 5站气温、降水、蒸发平均值（℃、mm）

Tab. 4 Average values of air temperature, precipitation and evaporation of five stations

项目 / 年	年平均气温	1月平均气温	7月平均气温	气温年较差	≥0℃积温	年降水量	年蒸发量
1958—1960	1.1	−12.7	13.5	26.2	1705	338.0	1855.2
1961—1970	1.0	−12.9	13.0	25.9	1735	332.0	1729.2
1971—1980	1.4	−12.4	12.8	25.2	1769	312.7	1691.5
1981—1988	1.3	−11.6	12.8	24.4	1716	347.8	1608.9

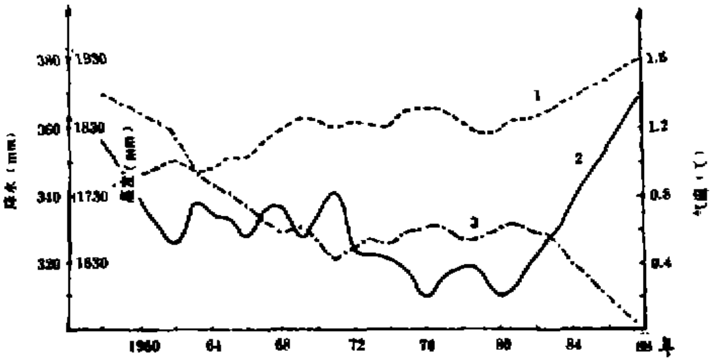

图2 刚察等5站年平均气温、降水、蒸发滑动平均曲线
1. 气温， 2. 降水， 3. 蒸发

Fig. 2 Running average curves of annual mean air temperature, precipitation and evaporation of five stations.

1. 气温

青海湖流域30多年来平均气温呈上升趋势，冬季气温（包括极端最低气温，表4中未列出）增高明显，夏季气温（包括极端最高气温，表4未列出）出现下降趋势。冬变暖而夏转凉的结果使年较差逐渐变小，如1958—1960年为26.2℃，而1981—1988年减小到24.4℃，减小了1.8℃。

2.降水

60年代以前降水比较平稳，进入70年代相对偏少，从80年代开始呈明显上升趋势。综合温度、降水状况，可以看出从80年代开始气候有向暖湿方向发展的趋势。

3.蒸发

蒸发总趋势是在下降，1981—1988年比1958—1960年5站平均值要减少246.3mm，其中茶卡、共和减少更为明显，减少量分别为470mm和385mm，这相当于两站年平均雨量的2.3倍和1.2倍。蒸发与降水在80年代之前，两者几乎同时下降，但到70年代末开始两者变化趋势相反。几乎在同一时期开始温度与蒸发亦表现为相反的变化趋势。造成这种现象的原因主要有两点：(1)年平均气温虽然升高，但在蒸发最旺盛的夏季气温反而降低，故总效应还是使蒸发量减少；(2)80年代这几年的平均风速几乎均为负距平，比平均值减小0.3—0.5m/s，这也使得蒸发量减小。

三、湖水位变化的气象因素

湖水位变化由长时期的变化趋势和年际变化两部分组成。下文分别讨论一百多年来湖水位下降趋势以及器测时期水位年际变化形成的气象因素。

（一）湖水位下降趋势的原因

根据树木年轮重建的气候资料序列，从1881年至1985年共105年间，暖期77年，冷期28年，干期55年，湿期50年。所以暖是百年来主要气候特征，其次是干略占优势。施雅风根据亚洲中部山区冰川进退变化和物质平衡观测以及受人类活动影响较小的山区湖泊萎缩资料，认为："……从上世纪末至今，亚洲中部气候呈现着干暖化趋势……"[2]。郭德冰岩芯有关资料显示[3]：20世纪为暖期，其起始时间大约在19世纪末。本文用树木年轮资料反映的青海湖流域一百多年的气候变化以暖偏干为主要趋势与上述结论基本一致。

以暖干为主要特征的气候背景，造成湖面蒸发量超过湖面降水量与入湖迳流量之和，因而形成湖水均衡亏损量累计值递增的趋势，这是百年来湖水文的基本特征。据有关资料推算[2]，1908年至1957年水位下降率17.2cm/a，蓄水量减少率$8.21\times10^8m^3/a$，湖面积减少率$8.4km^2/a$。有记录以来，自1956年至1988年，水位下降了3.35m，累计亏水量$148.13\times10^8m^3$，湖水面积减少$301.6km^2$。事实上，湖水位变化曲线与湖水亏损量（根据水均衡原理实际测算得到的每年亏损量）累计值曲线几乎完全吻合（图略）。因此，可以认为因气候暖干化导致湖水量入不抵支的长期发展是形成湖水位下降趋势的根本原因。

（二）湖水位年际变化的原因

1.水位异常变化前期的降水影响系统

表5为水位年际变化及相应年份气候类型划分结果。由于水位年际变化与前一年雨季5—9月降水密切相关，因此普查该时段的高空、地面天气图，以寻找青海湖流域主要降水影响系统。统计表明，青海湖过境冷锋或锢囚锋、柴达木槽、黑河低涡或槽是流域主要降水影响系统，柴达木盆地和黑河是两个关键地区。

1968年水位回升最多达32cm，1979年水位下降次多达33cm。分别以这两年作为水位异常升、降年，统计影响系统出现频率之差异。结果表明，锋面、柴达木槽、黑河低涡或槽回升年比下降年分别增加了69%、108%和72%，差异十分显著。另外取1961、1970、1974、1979、1980年为水位异常下降组，1968、1972、1976、1982、1983年为水位回升年组，统计两组前一

年5—9月500hPa高度距平合计值。可以明显看出，在回升年整个青藏高原至帕米尔高原为一致的大范围负距平区，而下降年为正距平区(图略)。

表5 水位年际变化与气候类型划分 (单位:cm)

Tab.5 Annual variation of lake water level and classification of climatic pattern

年 份	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
水位变化			−23	−24	−17	−15	−1	−3	−17	18	32	−19	−26	−15	3	−21
气候类型	NS	LG	LG	LG	LG	LG	LS	LG	NG	LS	LG	NG	LG	NS	NS	NG
年 份	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	
水位变化	−26	0	4	−14	−11	−33	−34	−21	2	9	1	−22	−4	−8	−11	
气候类型	LS	LS	LS	LG	NG	NG	NG	NS	LG	LS	LG	NS	LS	NS	NS	

* N、L、G、S分别表示暖、冷、干、湿。

2.不同气候类型对水位年际变化的影响

选取天峻、刚察、海晏、茶卡4站为代表站，以4站年平均气温距平合计值和年降水量距平百分率之和作为划分冷、暖和干、湿的指标(正值为暖、湿，负值为冷、干)，组成的气候类型见表5。表6为不同气候类型下造成水位升、降的统计结果。由表5、表6可以看出：(1)就总的平均情况而言，偏干年份伴随着水位的一致下降，其中暖干年下降幅度最大；偏湿年份只有暖湿年可使当年水位下降，其余可使水位略有上升或持平，其中冷湿年最有利于水位回升。由于降水对水位影响的滞后性，湿润状况对水位的影响在下一年体现得更明显，而冷热状况对当年水位的影响更直接些；(2)绝大多数水位上升年的前一年都偏湿，几乎所有偏干年份的第二年水位均下降；(3)水位年际变化主要取决于上年气候类型，但也与当年气候状况有关。例如1967、1983年这两年当年流域温度距平为历年负距平最大和次大，1967年降水量为历年最大值，1983年也为正距平，因此两年都属冷湿型，使水位回升。

表6 气候类型与湖水位升降(1960—1988年) (单位:cm)

Tab.6 Climatic pattern and fluctuation of lake water level (1960—1988)

类型	年份		水位上升			水位下降			年平均
			年份	上升量	平均	年份	下降量	平均	
暖干(NG)	6	当年				6	135	22.5	−22.5
		下年	1	18	18.0	5	140	28.0	−20.3
冷干(LG)	10	当年	3	35	11.7	7	122	17.4	−8.7
		下年	1	9	9.0	9	141	15.7	−13.2
暖湿(NS)	6	当年	1	3	3.0	5	77	15.4	−12.3
		下年	3	38	12.7	3	36	12.0	0.3
冷湿(LS)	7	当年	4	31	7.8	3	31	10.3	0.0
		下年	4	37	9.3	3	25	8.3	1.7

3.主要地面气象要素与水位年际变化的关系

青海湖属于封闭的内陆湖泊，从湖水量平衡原理出发，考虑可能影响水位年际变化的各项气象因子及其各因子某些综合共计24项，采用逐步回归方法来评价各因子对湖水位年际变化的贡献。结果表明，虽然在不同门限时的入选因子有所差异，但蒸发量、饱和差和上一年降水量始终是主要的影响因子。青海湖流域及邻近地区8个气象站(刚察、天峻、茶卡、江西沟、共和、海晏、湟源、祁连)年平均气温(T)、年蒸发总量(L)和上一年降水总量(R)与水位年际变化(Y)的相关系数分别为−0.405、−0.608、0.639，均通过信度取0.01的显著性标准。将上述三要素进行标准化处理，并组成综合指标$S=\frac{R}{T+L}$，经计算S与Y相关系数为0.703。

利用单站前期要素来预测水位年际变化效果良好,兹举刚察为例:

$$Y = -0.0095 - 0.1352\Delta T + 0.006\Delta R$$

式中 ΔT、ΔR 分别为该站前一年平均气温距平和雨季 5—9 月降水量距平。上式显著性检验 $F=10.27>F_{0.01}$。

四、结 论

1. 青海湖流域近六百年来主要暖湿期为 16 世纪、18 世纪中期到 20 世纪初期;主要的冷干期为 15 世纪中、后期以及 17 世纪到 18 世纪前期。最近的一百多年流域气候暖偏干,本世纪 40—60 年代较明显,80 年代初开始有向着暖湿方向发展的趋势,但这种趋势能维持多久? 尚需加强监测。

2. 近一百多年来,在暖干气候背景制导下,湖面蒸发量超过湖面降水量与入湖径流量之和,形成湖水均衡亏损量累计值递增的趋势,这是长期以来湖水位下降的根本原因。

3. 气候的年际变化是造成湖水位年际变化的直接原因。水位年际变化与前期降水影响系统出现频率,气候类型的差异以及地面气象要素等均有密切的相关联系。

参 考 文 献

[1] 竺可桢。竺可桢文集。北京,科学出版社,1979,475—506。

[2] 施雅风。山地冰川与湖泊萎缩所指示的亚洲中部气候干暖化趋势与未来展望。地理学报,1990,45(1)。

[3] 姚檀栋。中国气候与海面变化研究进展(一)。北京,海洋出版社,1990,128—130。

DISCUSSION OF THE CLIMATIC CHANGE IN RECENT 600 YEARS AND DROPPING OF LAKE WATER—LEVEL, QINGHAI LAKE DRAINAGE BASIN

Zhou Lusheng Yang Weidong

(Meteorological Bureau of Qinghai Province, Xining 810001)

Abstract

The historical climatic data sequence is reconstructed on the basis of tree ring data of Qinghai Lake Basin and neighbouring areas. In this paper four main periods (cold, warm, dry and wet) of the lake basin in the past 600 years are given and the climatic trend is predicted. It appears that the lake water-level falling is mainly caused by the warm-dry climatic tendency in recent 100 years. In addition, the relationships between the annual variation of the lake water level, the weather systems affecting antecedent precipitation, various climatic patterns and land surface meteorological elements are analyzed by means of statistical method.

Key words Qinghai Lake drainage basin, tree ring, climatic change