维普资讯 http://www.cqvip.com

第4卷第3期
1992年9月

湖 泊 科 学
JOURNAL OF LAKE SCIENCES

Vol. 4, No. 3
Sept., 1992

晚第四纪青海湖演化研究析视与讨论

王苏民 施雅风

(中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放研究实验室，南京 210008)

提要 本文根据钻孔及湖周湖泊沉积露头的分析，重建了晚第四纪以来青海湖湖面波动的历史，并结合近年有关青海湖演变的文献，评述和讨论了造成青海湖高湖面和低湖面的原因，最后预测了青海湖近代萎缩的未来趋势。

关键词 青海湖 气候变化 湖水位波动

近年来随着大气中 CO_2 等气体含量的迅速增加及其引起的温室效应，全球气候变暖势不可免，其中中纬地带干旱、半干旱区的响应最为敏感，许多科学家都力图通过这些地区的内陆封闭湖泊的研究，重建过去气候的演变序列，在区域对比的基础上为建立全球变化的模式提供依据。

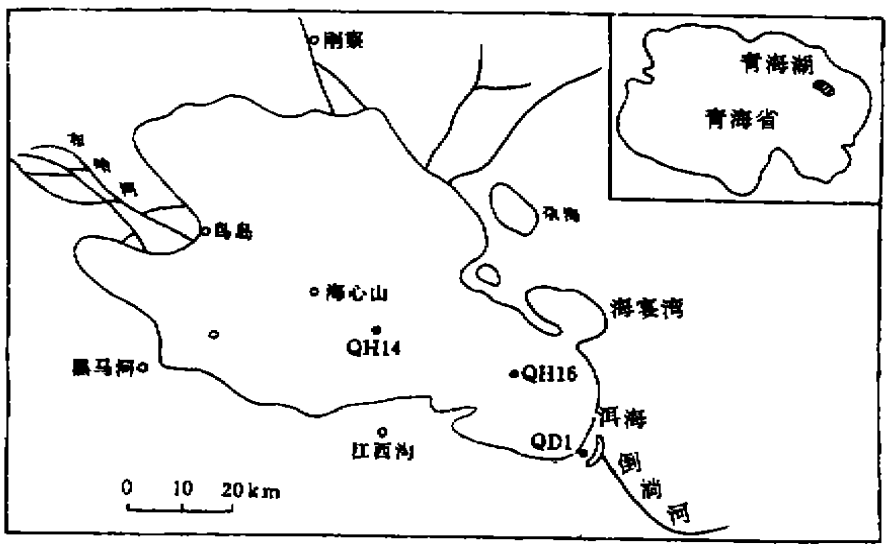

图1 青海湖地理位置

Fig. 1 The gaographical position of Qinghai Lake

青海湖位于青藏高原的东北偶，处在西南、东南季风和西风的交汇带，较长期以来一直是封闭湖盆，无疑对气候的变化和季风的迁移极为敏感，加上本区新构造运动的差异升降明显，使得青海湖末次冰期以来的湖面波动及其在地形上的表现具有特色。尤其近30年来水

维普资讯 http://www.cqvip.com

位的急速下降，湖泊萎缩，造成生态环境恶化，严重危及国民经济发展，已成为青海省的一个重大问题。因此，本世纪80年代许多国内外学者被吸引到青海湖，其中有关晚第四纪青海湖环境演化问题，已发表不少论著，并存在若干意见分歧，本文就这方面问题作一析视与讨论。

一、末次冰盛期的青海湖

青海湖盆是受NWW断裂控制的断裂盆地，被挟持在祁连山和青海南山之间，流域面积29661km²，盆地西北缘的山势多在4000m以上，最高峰5174m发育小规模现代冰川，冰川面积13km²，现代雪线高度4740—4810m[1]。南侧山岭高度在3500m以上，最高4590m，没有现代冰川，保留有末次冰期的冰斗遗迹，冰斗底部高程4100—4200m。根据末次冰盛期(LGM)的雪线高程，量算当时青海湖盆内的冰川面积达3024km²。按照中国西部各山系现代冰川面积与冰储量的统计关系，LGM时湖盆冰川总储量至少可达200±50km³，相应于现代青海湖容量的2.0—3.6倍。

根据耳海西测的QD_1孔，末次冰期的堆积为灰、绿灰色粗砂、中砂和细砂为主(孔深17—22m)，砂层多为反韵律沉积[2]；鸟岛84-1孔为青灰色湖滨砂砾层(孔深12.96—16.10m)，直接盖在第三系红色地层之上，砂砾层之上为全新世湖相淤泥层；二郎尖剖面中23680—14870a B.P.期间为一套湖滨砂砾层[3]。冰期时沉积物明显粗化，表明湖水变浅，在QD_1孔的地层中发现浅水生境的土星介(*Ilyocypris*)，仍属水下沉积，未见湖泊干涸后的陆上堆积。

青海湖QD_1孔的孢粉分析表明，末次冰期时木本花粉明显减少，仅占11.9%，成分单调，仅是松(*pinus*)、云杉、冷杉、柳、桤柳、桦和栎。灌木和草本植物发育，其中藜占优势，可达54.87%，蒿、禾本科、麻黄、菊科也多见，未见水生植物花粉，为荒漠草原景观。仅在山沟和坡地分布有稀疏针叶、落叶阔叶树，反映寒冷干燥的恶劣环境。目前可可西里高原也系此种环境，这里年均温−4℃，降水量200—250mm。所以末次冰期时青海湖的年均温要比现在低5℃左右，降水量减少150—200mm。另外，考虑末次冰期时的雪线比现今低600m，降水又较少，年均温差4℃左右是合理的。根据祁连山敦德冰帽冰岩心(距青海湖320km)的分析，本世纪40—80年代$\delta^{18}O$平均值为−9.7‰，而LGM时为−12‰至−13.5‰，相差2.3—3.8‰[4](Thampson，1989)，与邻近的德令哈气象站温度记录比较，$\delta^{18}O$变化1‰，温度变化1.61℃①。故LGM时温度比现今低4—6℃。可见，孢粉组合、古雪线和冰岩芯三者推算的古温度值大致相近。但与格陵兰世纪营冰芯和南极东方站冰芯记录的8°—10°相比，表明了中纬度干旱区高山区大陆性气团控制下夏季降水和温度变化的特点。根据上述温度值，应用中国西部现代冰川雪线上年降水与夏季温度相关图(图2)，得知青海南山LGM时夏季温度在1℃左右，降水量约300mm。

库勒(M. Kuhl，1987)提出青海南山末次冰期雪线降至3693—3825m，较现代下降1000—1150m，山麓冰川伸展到青海湖滨。这可能是把湖滨平原上某些山洪泥石流堆积误认为冰碛所致(施雅风，1990)。根据与青海湖相邻的柴达木盆地中大柴旦和察尔汗盐湖的研

① 姚檀栋，祁连山敦德冰芯中的全新世高温期，1991.

维普资讯 http://www.cqvip.com

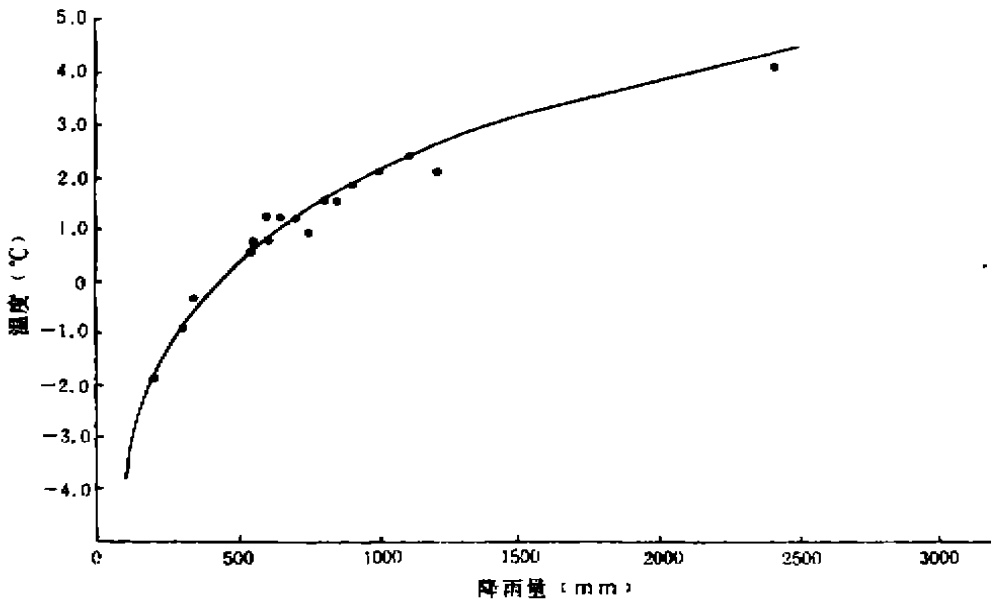

图 2　西部山地冰川平衡线年降水量与夏季温度相关（施雅风等，1988）

Fig. 2　The correlation between annual precipitation and summer temperature at the balance line of glaciers in mountain area, West China (from Shi Yafeng etc. 1988)

究，2500－9500 a B. P. 最为干旱，出现厚层石盐沉积（陈克造，1990），也表现末次冰期最盛时是干旱气候。

综上所述，末次冰期的青海湖地层是在干冷气候控制下，年均温比现今低 5℃左右，降水约 200—250mm，表现为荒漠草原景观。无论是岸边露头或钻孔均呈现较粗的沉积，湖泊明显收缩，大片湖滩地出露，成为湖泊东部和东北部巨大沙丘的物质供给源，但是青海湖并未干涸。至于如何解释地震剖面中明显的反射面（Kelts，1988），湖泊东中部是否堆积风成黄土（张彭熹，1988），还有待进一步分析研究。

二、全新世的湖面波动与高湖面

根据 QD_1 孔的孢粉分析，晚冰期青海湖地区的古气候存在较明显的波动，大约 12ka B. P. 气候明显变暖，7. 8—3. 5ka B. P. 出现较持续的暖湿气候，3. 5ka B. P. 趋向凉干，波动的幅度也较小。随着气候的大幅度波动，青海湖环境敏感地响应，最显著的就是湖水位的升降及与其相应的沉积和地貌。关于全新世有无高湖面，以及高出今湖面多少的问题，至今还存在争议，张彭熹（1988）认为没有高湖面，青海湖四周的阶梯状地形是全新世前的产物；陈克造（1990）认为有高湖面，最高湖面仅仅高出现今 13m；陈发虎（1991）认为最高湖面可达 25—30m。

维普资讯 http://www.cqvip.com

1. 青海湖周围的阶梯状地形及其年代

青海湖四周，从山麓到湖滨阶状地形明显，至少存在四级湖成阶地，其中以第二级阶地分布最广，保存较完整。由于新构造运动断块差异升降，湖盆不同部位的阶地级数、发育程度和高程差别颇大。这些阶地主要分布在南侧的江西沟、黑马河、东侧的大板沟至湖东种羊场一带，以及西部的布哈河谷地等处。

四级阶地见于江西沟、大板沟，紧贴山麓呈狭窄条带状，平均高出现代湖面约 120m，近山部分为被湖水改造的细砾或砂砾层，水平层理清楚，向湖逐渐相变为以砂层为主，具水平、波状、波状交错层理，偶见富含植物碎片夹层，在整体上呈现下细上粗的反韵律层序。碳屑夹层的 AMS 测年为 12100±265a B. P.。该阶地形成时的高湖面环境与晚冰期向全新世过渡时气候明显转暖，大量融化的冰川冰融水补给湖泊密切相关。

三级阶地在江西沟保存较好，还见于大板沟等地。江西沟三级阶地前缘高出湖面 73m，后缘约 100m，为基座阶地，基岩之上为松散的砂砾层，顶部为厚 2m 的湖相泥、砂和细砾及沼泽相沉积，缺乏测年资料。

二级阶地分布广泛，盆地不同部分的高程差别较大。在江西沟其前缘高出湖面 20—25m，后缘达 65m，宽展的阶地面上存在高差不大的坡折。总的说组成物质较细，底部可见一套砂砾层，中部为夹有生物碎屑层的细砂、灰色泥，含较多的水栖肺螺(*Galba*)，顶部为有机质含量较高的泥沼沉积。黑马河西北基岩湖岸处，二级阶地的主要组成物质为纯净的砾石层，呈迭瓦状向湖排列，砾石均为扁平状，平均砾径 5cm，为典型的湖滨砾石层。江西沟二级阶地近前缘顶部沼泽泥、前缘下部的螺壳及后缘下部的螺壳，^{14}C 的年代分别为 4830±130a、5310±125a 和 6860±130a B. P.。可见组成二级阶地沉积物主要形成于 7000—4000a B. P.，大致相当于全新世的高温期。考虑到布哈河谷地拔湖 40m 的二级阶地顶部湖相层的年代为 3210±75a B. P.，而盆地周边普遍见有 3500—4000a B. P. 的古土壤层，故形成二级阶地的高湖面时期大概结束于 3500—3000a B. P.。

一级阶地较宽坦，最宽处可达 3.5—4.0km，前缘拔湖 7—9mm，后缘 17—26m，阶地面上尚保存至少三道古砂堤。阶地组成物质在近岸带开阔的江西沟和大板沟，主要为细粒沉积，如泥质粉砂、粉砂质泥，夹有粗砂、细砂或砂砾的薄层或透镜，并含有螺壳化石。在濒临基岩陡岸的黑马河西北，阶地物质以粗大的砂砾为主。江西沟一级阶地后缘剖面中高含有机质湖相泥的^{14}C 年龄为 1880±90a B. P.，布哈河一级阶地前缘顶部水草夹层的年龄为 1000±85a B. P.，因此一级阶地是 2000—1000a B. P. 高湖面的产物。

从一级阶地前缘至湖区为近代湖滩，高出湖面 5m，均由砂和砂砾组成，表面无植被复盖，是近期湖退的产物。现代湖滩之上，一般分布有 2—5 道砂堤，各砂堤相对高差 80—100cm，它们代表湖退过程中湖面的短暂停顿。

2. 倒淌河谷地中的古砂堤

倒淌河谷地位于青海湖的东部，为 NWW 向大断裂控制的构造谷，宽数 km 至十余 km，东西长 30 余 km，它与盆地西部的布哈河谷地遥相对应，属同一断裂体系。在倒淌河下游的宽谷中，分布有一系列近于平行现代湖岸线的砂砾堤，其形态完整，高程向下游逐一降低，各砂堤之间为沼泽湿地或者残留的小湖这些砂堤均被倒淌河切开，作者对三条发育较完整的砂堤进行了激光地形剖面测量(表 1)。

维普资讯 http://www.cqvip.com

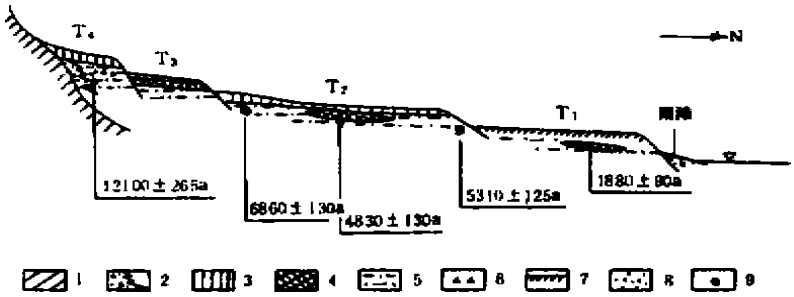

图3　青海湖南岸江西沟梯状地形剖面及年代

1. 基岩，2. 洪积扇，3. 表土，4. 泥炭，5. 湖泊亚粘土，6. 炭屑，7. 黄土状堆积物，8. 砂砾，9. 螺化石

Fig. 3　The steplike morphological profile and age in Jiangxi Creek of south shore, Qinghai Lake

表1　倒淌河谷中古砂堤地形实测数据

Tab. 1　The measurement of sandy barriers in Doutanhe valley

砂堤	高程 (m)	拔湖高度 (m)	长度 (km)	宽度 (m)	延伸方向	河谷宽度 (km)	谷底高程 (m)	相对高度 (m)
Ⅰ	3203—3204	10—11	7.6	200—400	NE	1.5	3194	9—10
Ⅱ	3221—3222	27—28	3.8	300—700	NW—NE	1.1	3204	17—18
Ⅲ	3240	46	4.7	200—500	NW—NEE	0.75	3214	26

根据砂堤天然剖面的观察，它们均由多个下部为砂层、向上渐变为砂砾或砾石层的反韵律沉积层序叠加而成。砂层分选好，具波状和波状交错层理，石英颗粒外形浑圆，SEM 显示波浪机械磨蚀的微形貌，局部砂层内夹暗色砂质粘土的透镜，砾石粒径一般 0.3cm 至数 cm，外形多扁平，磨圆好。上述沉积特征表明，这些砂堤是青海湖退缩过程中形成的古砂坝沉积。

1908 年柯兹洛夫(P. K. Kozloff，1909)考察青海湖时，从他所编的青海湖图上，耳海尚不存在，青海湖面较现在高出 11m，目前分隔青海湖和耳海的沙堤顶部高出青海湖面 7.0m，高出耳海水面 2.3m，可见最新近的沙堤形成年代不足 100a。耳海东侧的沙堤年代，向东逐级增大，拔湖 10—11m 沙堤内测的^{14}C 测年为 1230±60a B. P.，拔湖 27—28m 的沙堤内侧的淤泥质粉砂测年为 4475±100a B. P.，相应地青海湖西侧的哈达滩，第一道砂堤内侧湖泊淤泥的年代 2010±150a，拔湖 27m 的砂堤的年代 3020±80a B. P.。①

3. 盆地北部的地貌

青海湖北部的情况较复杂，未发现典型的湖相细粒沉积。根据露头观察，在哈尔盖河、哈尔盖圹曲，马哈阿兰河等地见到拔湖 80m 的湖滨砾石层，直接盖在基岩之上，代表湖泊最大范围时的岸线所在。局部的湖沼沉积可见于沙柳河的刚察，^{14}C 测年为 4130±110a B. P.，北

① 徐国文．青海湖水位下降与生态环境保护对策研究报告(第一部分)．1991．

维普资讯 http://www.cqvip.com

岸大量钻孔揭示，地表以下数十 m 的范围内均为砂砾层，推测细颗粒沉积可能被后期侵蚀掉。湖泊东北部最典型的湖泊沉积见于托勒车站西，拔湖 45m，水平层理发育，为黄灰色细砾、粉细砂、泥质粉砂互层。

综上所述，青海湖四周的阶状地貌反映了冰后期湖面存在多次波动，最高湖面出现在 12ka B. P.。全新世高温期形成了本区分布最广的阶地，最低级阶地是 2—1ka B. P. 的产物。湖面的这种波动在宽谷和大湖湾内可见相应的砂坝沉积。拔湖 7—10m 以下的现代湖滩和滩脊是近期湖泊退缩过程的结果。但是湖周不同地区的地貌组合形态及高程差异颇大，表明在新构造运动不同性质与强度的背景下，外力作用过程回异是其主要原因。

三、青海湖全新世环境演化讨论

近年来国内外学者根据青海湖区岩芯分析结果，业已发表一系列文章，探讨青海湖全新世演化历史（陈克造等，1989；黄麒，1988；张彭熹，1988；Kelts，1988；杜乃秋等，1989）。总的说孢粉组合及木本植物花粉含量大致反映降水的丰度，沉积物中总碳酸盐含量和介形类壳体的 $\delta_{18}O$ 值代表湖水的盐度，$\delta^{13}C$ 值和有机碳含量与生物量大小有关，其年代数据，由于测试材料与方法不尽相同，存在较大的差别。本文力图将露头、地貌与岩芯资料结合，并联系祁连山敦德冰岩芯的研究结果，对以下问题进行讨论。

1. 全新世高温期的高湖面

前已提及，全新世高温期青海湖有无高湖面和高湖面的幅度是有争议的。根据青海湖湖心区岩芯分析，7500—3500a B. P. 出现以木本植物占优势时期，表现为含针叶树的落叶阔叶林的森林植被面貌（图 4）（杜乃秋等，1988），相应地该时期沉积物出现有机碳含量的高值段和碳酸盐的低值段，表明湖泊生物量的增高和湖水的淡化。沉积物中介形类壳体的 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 分别偏负和偏正，前者代表湖水较低盐度，暗示较多季风环流的海洋气团降水；后者代表较高的生物量和较强的生物泵作用。同样，敦德冰岩芯的 $\delta^{18}O$ 曲线表明 8.5—3.0ka B. P. 为一明显偏正暖期。结合到前面所述的地貌形态，7000—3500a B. P.，形成了本区分布最广的二级湖成阶地，其后缘拔湖 65m，前缘 20m。所以青海湖地区在全新世高温期表现为温暖湿润的环境，湖东北部大水圹（由青海省环境水文地质站发现）的紫果云杉（*Picea purplea*）其年代为 6245±180a B. P.，该树种在青海湖流域现已消失。依据它在相邻地目前生长所需的热量与温度条件，可以推测当时的年均温比今高 3—4℃，降水量超出 50%以上，达 600—650mm。另外，根据库兹巴赫能量平衡的原理，进行高温期青海湖古水量平衡计算，求得古年降水量达 600mm，可见丰沛的降水和地表径流是维持高湖面的主要因素。

应该指出，二级阶地的高程表明，高温期前期的湖面要高出后期，即为一个退缩过程。在 5000—5500a B. P. 左右各项分析指标都存在一明显的变化，包括木本植物花粉含量，有机碳、$\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$。相应地湖东大板沟的二级阶地剖面中，可看到上下二套湖相沉积，间夹一层河流三角洲粗碎屑层，上部湖相层年代为 4600a B. P.。这些证据均说明高温期内部存在一次较强的冷波动，其后气候温湿程度比较前期开始降低。3500—3000a B. P. 存在一次更强的冷波动，标志高温期的结束，湖泊进入一个新的演化阶段，尽管 2000—1000a B. P. 气候曾一度转暖湿，但与最宜期相比，在持时和程度都不能同日而语（wang etc，1991）。

维普资讯 http://www.cqvip.com

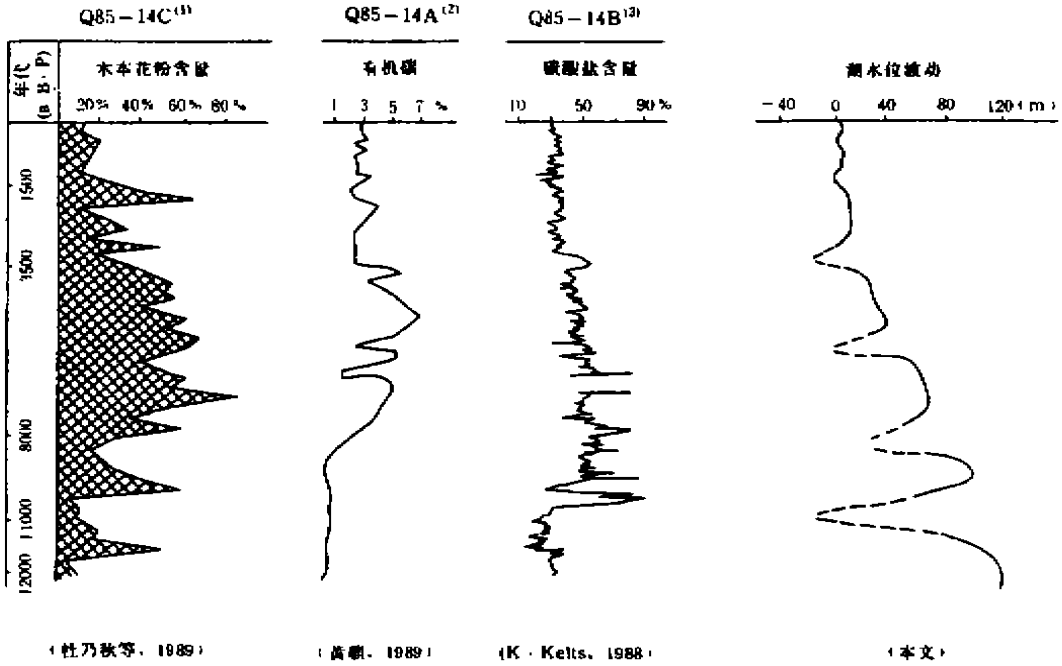

图 4　青海湖湖泊岩芯分析结果与湖泊阶地的对比

Fig. 4　The correlation of analytical result of lacustrine core with the terraces, Qinghai Lake

2. 关于拔湖 120m 高湖面的讨论

青海湖南侧的江西沟、东北侧的大极沟、倒淌河镇的东北，均发现拔湖 100—120m 的湖泊沉积，江西沟 AMS 测年为 12100±265a B. P.，在位于青海湖和耳海之间的 QD_1 孔中，井深 16m 处的灰色粘土层，AMS 测年为 11900a B. P.，其上下为粒级较粗的泥质粉细砂和中砂，夹含砾砂层，粘土层代表一个水深较大的时期。鸟岛的钻孔中，湖泊淤泥直接盖在砂砾层上，显示了突然湖进与水深加大的过程。

钻孔中孢粉、有机碳和 $\delta^{18}O$ 的资料表明，这时青海气候仍偏凉干，以草原植被为主，局部水热条件较好，存在常绿针叶林或针阔混交林。湖泊生物量不高，湖水温度偏低，碳酸盐的含量为全剖面最低段，暗示湖水体淡化，这些特点与冰融水补给造成的高湖面是一致的。如前所述，末次冰盛期冰川面积约 3024km²，储水量可达 200±50km³，随着冰盛期结束后的升温，特别是 12ka B. P. 相当于欧洲的阿莱罗德暖期，温度曾一度与现代接近，冰川必然大量融化，导致湖泊水位急剧上升。但是单纯冰川融化不能满足 120m 高湖面所需水量，还有二个因素必须考虑：一是 12ka B. P. 时降水量是否有一定程度的增加；二是湖区的差异升降运动，湖泊部位下沉，湖周山地隆升，这一情况已为前述的二、三级阶地前后缘的显著高差和若干河道偏向湖盆中央改道现象所证实①。差异升降会夸大古湖泊阶地的相对高度，因此

① 青海省环境水文地质报告．青海湖北部的甘子河、哈尔盖河、西部的布哈河支流峻河均有偏向于沉降较强的湖区改道．1990．

维普资讯 http://www.cqvip.com

120m 高湖面遗迹的真相与形成原因，还有待进一步深入研究。

四、近代青海湖的萎缩及未来趋势

晚全新世虽然气候在 2000—100a B.P. 曾有所好转，但是总的是趋于干冷，植被转变为近代草原环境。根据现有确切的文字记载，百年尺度气候波动也足以导致 10—20m 的水位升降。1908 年以俄国人科兹洛夫为首的考察队，在青海湖的考察报告中关于海心山的相对高度和海心山—南岸的测深剖面(Kozloff，1909，1923)，可以推定当时湖面高出现代 11m，即 3205m，达到一级阶地的前缘，报告中还明确指出，当时青海湖有明显的萎缩现象。近代湖泊沉积剖面的综合分析，结合邻近地区树木年轮及冰岩芯的研究结果，都反映 15—19 世纪小冰期在气候上较现代凉湿(王苏民等 1991，姚檀栋 1990)。

自小冰期结束以来，气候进入了暖干化阶段(施雅风，1990)，1908—1986 年间湖水位下降 11m，湖面积缩小 676km²，其中有实测湖水位与气象、水文记录的 1957—1986 年间，水位下降近 3m，面积缩小 264km²(图 5)。

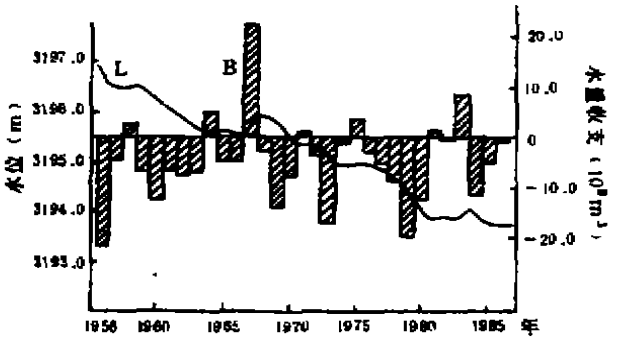

图 5 青海湖器测时期变化

L 湖泊水位；B 水量平衡

Fig. 5 The level fluctuation and water balance of Qinghai Lake in instrument measurement period

本世纪气候暖干化所导致的青海湖水位下降，加之人口增加与人类不适当的活动，加剧了生态与环境的恶化，深为青海湖的前途担忧。考虑到下世纪中期温室效应倍增，青海湖区较今升温 2℃或更多的情景下，预测青海湖如何演化至关重要。据当前的预计，本世纪末及下世纪初，青海湖水位将继续下降，但速度减缓。至下世纪中期，或者因为气候继续暖干化而进一步萎缩，或者因环境形势出现大的变化，重现全新世高温期的暖湿气候，使青海湖水位上升，湖泊扩张。甚至经过一段时期后，重新覆盖森林植被的可能却是存在的。目前需要加强监测与研究，以缩小预测的不确定性。

维普资讯 http://www.cqvip.com

参 考 文 献

[1] 施雅风、白重瑗。中国西部高山冰川形成的地貌、气候条件和雪线分布。中国冰川概论，北京，科学出版社，1988：11—28。

[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)：1—13。

[3] L. G. Thompson，E. M. Thompson，M. E. Davis，J. F. Bolzan，J. Dai，Yao.，T. N. Gundestrup，Wu. X. L.，Klein，Holocene-Late Pleistocene Climatic Ice core Records from Qinghai-xizang Plateau，1989.

[4] 王宗太等。中国冰川目录1，祁连山区。中国科学院兰州冰川冻土所，1981。

[5] Wang Sumin，Wang Yunfei，Wu Reijin，Li Jianren. Qinghai Lake level fluctuation and climatic change since the last glaciationo. CHIN. J. OCEANOL. LIMN，9(2)：170—183.

[6] 陈克造、J. M. Bowler、K. Kelts。四万年来青藏高原的气候变迁。第四纪研究，1990(1)，66—77。

[7] K. Kelts，Chen Kezao，G. Lister，Yu Junqing，Gao Zhanghong，F. Niessen，G. Bonani，Geological fingerprints of climate history：a cooperative study of Qinghai Lake，China. *Eclogae geol. Helv.* 1989，82(1)：167—182.

[8] 张彭熹、张保珍、杨文博。青海湖冰后期水体环境的演化。沉积学报，1988，6(2)：1—14。

[9] 杜乃秋、孔昭宸、山发寿。青海湖QH85—14a钻孔孢粉分析及其古气候古环境的初步探讨。植物学报，1989，31(10)：803—814。

[10] 陈发虎、汪世兰、张维信、潘保田。青海湖南岸全新世黄土剖面气候信息及湖面升降探讨。地理科学，1991，11(1)：76—85。

[11] 黄麟。青海湖沉积物的沉积速率及古气候的初步研究。科学通报，1988，33(22)：1740—1744。

[12] P. K. Kozloff，The Mongolia Szechuan Expedition of the Imperial Russian Geographical Society，*Geographical Jaurnal*，1909，34(2)：389—827.

REVIEW AND DISCUSSION ON THE LATE QUATERNARY EVOLUTION OF QINGHAI LAKE

Wang Sumin　　Shi Yafeng

(Laboratory of Lake Sediment and Environment，Nanjing Institute of Geography and Limnology，Chinese Academy of Sciences，Nanjing 210008)

Abstract

Based on the analysis of cores and outcrops around Qinghai Lake，the history of lake level fluactuation since late Quaternary has been reconstructed. Combined with the literatures on the lake evolution in recent years，the possible recons caused the high and low level of Qinghai Lake are assessed and discussed. Finally the tendency of the lake shrinkage is predicted.

Key words Qinghai Lake，climate change，fluctuation of lake level