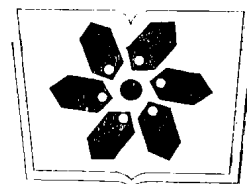




青海湖近代环境的演化和预测

中国科学院兰州分院 著
中国科学院西部资源环境研究中心

科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版

青海湖近代环境的演化和预测

中国科学院兰州分院 著
中国科学院西部资源环境研究中心

科学出版社

1994

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是中国科学院兰州分院和西部资源环境研究中心针对青海湖近二三十年来的环境变化对青海湖进行的综合性研究的成果总结。书中以青海湖流域的最新自然资料为基础,介绍了湖区的自然地理和地质概况;通过湖区湖水化学成分、痕量金属、稳定同位素等分析结果,阐明了湖水的化学分布特征及演化规律;根据近30年来环湖各台站的长期观察资料,进行了青海湖流域和青海湖的水量平衡计算,论述了湖区近30年来的水位变化,并通过回归模拟预测了近期的水位发展趋势;另外还研究了湖底近代沉积物的类型、分布特征及初期成岩作用,并通过近代沉积物中的气候环境演化信息,论述了湖区近一万二千年来的气候演化历程,阐明了目前湖区的生态环境现状及存在的主要问题和对策,对青海湖流域今后的国民经济发展具有重要意义。

本书可供广大地球科学工作者及相关领域的研究人员参考。

青海湖近代环境的演化和预测

中国科学院兰州分院 著
中国科学院西部资源环境研究中心
责任编辑 胡晓春

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1994年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16
1994年8月第一次印刷 印张:17 1/2 插页:9
印数:1—900 字数:400 000

ISBN 7-03-004203-4/P·758

定价:22.00 元

前 言

青海湖是我国境内具有表面水的最大湖泊,由于其深居内陆,远离城镇,人为污染较少,因而是研究近代环境演化的良好地区。所谓近代环境,在时间概念上是指全新世以来的环境变化。因此,本书所讨论的内容仅限于冰后期至今约一万二千年来青海湖区环境的演化,以及今后环境的发展预测。关于青海湖的发生、发展特别是更新世以来的古青海湖的形成与发展,前人已做了大量的研究,尤其在《青海湖综合考察报告》一书中已做了较详尽的论述。本书将集中论述一万二千年来该湖区环境的演化。

近年来由于全球性的气温变暖,特别是 CO_2 温室效应的提出,人们十分关注今后全球性气候的变化。国际科联(ICUS)在1986年9月制定了全球变化研究计划,该计划认为“了解过去环境变化”是解决现代全球变化问题的基础之一,从而确定将“过去全球环境变化”研究,作为全球气候变化的核心研究计划项目之一。作为中国科学院西部资源环境研究中心,理应对西部环境的演变给予最大的关注,尤其是50年代以来新疆罗布泊表面自由水体的干枯和近二三十年来青海湖湖水水位波动下降、湖西缘鸟岛已与陆地相连等现象的出现,则更加引起了国内外人士的关注。中国科学院兰州分院、中国科学院西部资源环境研究中心组织了兰州地质研究所、兰州高原大气物理研究所、冰川冻土研究所、西北高原生物研究所、青海盐湖研究所等有关科研人员进行了多学科的联合考察(1989—1991年),综合研究青海湖的东南湖湾、海晏湾、耳海、尕斯库勒湖等地,采集了湖底沉积物岩心,在全湖范围内搜集了悬浮物、生物、大气、水、滨岸沉积物等大量样品,开展了气象、水文、生态、沉积、水化学、稳定同位素和生物地球化学等方面的研究,研究工作中除充分利用了1985年后青海盐湖研究所与中、澳、瑞联合调查的湖区水化学、水同位素、浅层地震剖面测量、湖底沉积物浅钻取样及湖岸二郎尖150m钻探取心等大量工作的基础资料外,主要是总结近三年来(1989—1991年)的综合研究结果,力图科学地恢复过去——冰后期以来的青海湖环境演变历程,并对其今后的发展做出预测。

我国最早关于青海湖的记载,见于郦道元《水经注》,书中曾描述到:“临羌县西南有卑禾羌海,谓之青海。海周七百五十里,中有二山,一曰魁孙陀罗海,峰峦片白,俗谓之海心山,一曰察汉哈达,近西岸,其峰卑小,多土少石。二山东西对峙,水色青绿,冬夏不枯不溢。自日月山望之,如黑云冉冉而来”。早在18世纪40年代以来,就有不少中、外学者及团体来此考察,如E. R. Huc和T. Gabet(1844年)、N. M. Przewalskii(1872年)、V. I. Roborovskii(1893年)、Hedin(1894—1896年)、W. Filchner(1903—1905年)、П. К. Козлов(1908年)、秦仁昌(1923年)、J. P. Rock(1925年)、W. Beick(1926年)、孙健初(1938年)、李承三和周廷儒(1941年)、A. A. Нерновыт(1946年)等。新中国成立后,对青海湖的考察和研究则更加频繁,如施雅风等(1955年)、黎尚豪(1959年)、中国科学院兰州地质研究所等四单位(1961—1962年)、吴征镒(1975年)及中、澳、瑞联合科

学考察组(1985—1987年)等均进行过大量的工作。此外,自1955年青海省水利厅在环湖地区建立了多个水文气象站以来,青海省各有关单位,如地质矿产局、气象局、农垦局、水利局、水产局、环保局以及青海师范大学等单位的有关人员,对湖区的自然环境、地质、水文、气象、土壤、植被、畜牧、水产等多方面进行了考察和研究。上述考察研究中以中国科学院组织的兰州地质研究所、水生生物研究所、微生物研究所、南京地质古生物研究所四单位组成的青海湖综合考察和由中国科学院青海盐湖研究所组织的中、澳、瑞三方科学家的青海湖联合科学考察规模最大,投入的人力物力最多。本项工作中部分专题研究是中、澳、瑞联合考察的继续,主要由中国科学院兰州分院西部资源环境研究中心组织和资助,多学科地重点研究青海湖近代环境的演化和预测。

本书共分十一章,各章分工如下:第一章,张彭熹等;第二章,孙大鹏等;第三章,张保珍等;第四章,曲耀光等;第五章,汤懋苍等;第六章,于昇松等;第七章,高章洪、马宝林等;第八章,朱莲芳、马宝林等;第九章,范璞、李景贵等;第十章,张彭熹、范璞等;第十一章,周立华等。各章完成后,本书一稿由马宝林统一编纂、修改,二稿由张彭熹进行修改和定稿,最后由范璞第三次审改定稿。

本研究项目总负责人:范璞、张彭熹、马宝林。

各专题的研究人员如下:

1. 青海湖湖水的化学演化:孙大鹏、唐渊、王克俊、李秉孝、韩智明、许志强、原力、刘群柱、王鲁英、杨波。

2. 青海湖水体和近代沉积物中介形类稳定同位素组成及环境演化:张保珍、张彭熹、李海军、钱桂敏、高东林、张倩、徐黎明、刘建华、李天义、滑迎庆、盛传利。

3. 青海湖流域地表径流变化与湖水位关系研究:曲耀光、丁永建、刘风景、炳洪涛、刘景时。

4. 青海湖流域近几十年的气候变化及未来趋势的预测:汤懋苍、高晓清、张健、杨良。

5. 青海湖区水系中的痕量金属:于昇松、陈克造、邵明昱、王克俊、唐渊、雷亚川、杨波、刘建华。

6. 青海湖全新统的成岩作用:朱莲芳、马宝林、史基安、雷怀彦、姚金福、陈国俊、王琪、陈志祥、李节通。

7. 青海湖沉积物中碳酸盐的研究:高章洪、王克俊、姚燕、杨波、林乐枝、山发寿、深青生。

8. 青海湖沉积物生物地球化学的研究:范璞、李景贵、王兆云、张松林、崔明中、应光国、钱尧荣、李振西、张栢生、陈宁(兰州大学)、程学惠、张谦、吴贻华、吕德宣。

9. 青海湖地区生态环境及防止恶化对策的研究:周立华、彭敏、陈桂琛、叶沧江、李德浩、周笃珺、淮虎银、刘庆、叶晓堤、朱申武、赵京、何海。

此项研究工作是在中国科学院孙鸿烈、胡启恒、刘安国指导下进行的,研究工作中,中国科学院地学部学部委员叶连俊教授、涂光炽教授、刘东生教授、高由禧教授、施雅风教授、孙枢教授和欧阳自远教授给予了具体指导,在此表示衷心感谢。

研究工作还得到了青海省地质矿产局、气象局、农林厅、畜牧厅、水利厅所属各基层单位,特别是青海湖渔场和环湖各台站的支持和协助,此外,中国科学院兰州分院科技处及

分院所属各有关研究所对该项研究工作的进行给予了具体的指导和帮助，对上述各单位及曾支持过本项研究工作的各方面人员表示衷心的感谢。

本书的出版，得到中国科学院自然与社会协调发展局的资助，特此致谢。

此项研究工作，涉及许多学科和研究领域，由于我们的认识水平有限，不切合实际和错误之处在所难免，希望读者给予批评指正。

目 录

前言

第一章 青海湖区概况	1
一、青海湖区自然地理及地质概况.....	1
二、青海湖区气候及植被简况.....	2
三、青海湖区的湖泊与水系.....	3
四、青海湖的形成与发展.....	7
第二章 青海湖湖水的化学演化	10
一、青海湖湖水的水化学特征.....	10
二、青海湖湖水的化学演化.....	19
第三章 青海湖区水的稳定同位素分布特征及其演化规律	29
一、样品的制备.....	29
二、青海湖区各类天然水中氢、氧同位素分布.....	30
三、湖水中氢、氧同位素的分布特征.....	33
四、青海湖区近代水的稳定同位素演化趋势.....	39
第四章 青海湖流域和青海湖的水量平衡	41
一、青海湖流域水量平衡的要素组成及其变化.....	41
二、青海湖水量平衡要素组成及其变化.....	55
第五章 青海湖区近 30 年来气候、水位变化及发展趋势预测	68
一、青海湖流域水文气候特征简述.....	68
二、青海湖水位变化.....	71
三、回归模拟.....	75
四、气候变化对青海湖水位的影响及预测.....	77
第六章 青海湖区水系中的痕量金属	80
一、样品的采集、处理及测试方法.....	80
二、湖及入流水体中的痕量金属.....	82
三、湖水悬浮物中的痕量金属.....	95
四、湖底沉积物中的痕量金属.....	100
五、青海湖中痕量金属行为的周期性.....	103
第七章 青海湖近代沉积物特征	112
一、青海湖近代沉积物概况.....	112
二、青海湖碎屑沉积物特征.....	114
三、青海湖近代沉积物中的碳酸盐.....	119
第八章 青海湖近代沉积物的初期成岩作用及其环境演变	131
一、青海湖湖底近代沉积物的初期成岩变化.....	131

二、青海湖湖岸(滩)沉积物的成岩作用·····	143
三、成岩过程中孔隙结构、元素、矿物及碳、氧稳定同位素的变化·····	148
四、青海湖环境的演化·····	167
第九章 青海湖近代沉积物生物地球化学·····	168
一、样品和实验·····	168
二、近代沉积物中有机质丰度·····	170
三、近代沉积物中的烷烃和烯烃·····	176
四、近代沉积物中的脂肪酸及其他化合物·····	188
五、青海湖沉积物中的萜类化合物·····	202
六、青海湖沉积物中的甾烯·····	216
七、青海湖近代沉积物中的氨基酸·····	216
第十章 青海湖区近代气候环境的演化·····	225
一、青海湖区近代沉积物中介形虫壳体的氧、碳同位素和镁/钙、锶/钙值测定··	225
二、生物壳体碳酸盐的氧、碳同位素分布特征·····	227
三、生物壳体碳酸盐的镁/钙、锶/钙值分布·····	229
四、近代沉积物中碳酸盐及其矿物相态变化对环境的指示·····	228
五、近代沉积物中有机质、氨基酸含量变化对环境的指示·····	230
六、青海湖区近代气候环境的演化·····	230
第十一章 青海湖区近代生态环境的演化·····	240
一、青海湖区生态环境现状·····	240
二、生态环境存在的主要问题·····	255
三、青海湖区近代生态环境的演化·····	260
结束语·····	262
参考文献·····	264
图版说明·····	269

EVOLUTION OF RECENT ENVIRONMENT IN QINGHAI LAKE AND ITS PREDICTION

CONTENTS

Preface

1. General introduction to the Qinghai Lake Area	1
1.1 Introduction to its natural geography and geology	1
1.2 Synopsis of its climate and vegetation	2
1.3 Lakes and water system.....	3
1.4 Formation of the lake and its development	7
2. Chemical evolution of water in Qinghai Lake	10
2.1 Hydrochemical characters of the lake water	10
2.2 Chemical evolution of the lake water.....	19
3. Distribution characters of stable isotopes of waters in the Qinghai Lake area and their evolitional law	29
3.1 Sample preparation	29
3.2 Distributions of δD and $\delta^{18}O$ in various natural waters in the lake area	30
3.3 Distribution characters of δD and $\delta^{18}O$ in the lake waters.....	33
3.4 Evolutional trend of stable isotopes in recent waters in the lake waters	39
4. Water budget of Qinghai Lake and its drainage area	41
4.1 Composition and variation of key elements for the water budget in the Qinghai Lake drainage area	41
4.2 Composition and variation of key elements for the water budget in Qinghai Lake.....	55
5. Variations of climate and water level in the Qinghai Lake area in past 30 years and the prediction to their developmental trend.....	68
5.1 Introduction to the hydroclimatic character in the lake drainage area...	68
5.2 Variation of the lake water level.....	71
5.3 Regression imitation.....	75
5.4 Influence of climatic variation on the lake water level and its prediction	77
6. Trace metals in the water system of the Qinghai Lake area	80
6.1 Collection, treatment and measurement of samples	80
6.2 Trace metals in the lake and its inflow waters	82
6.3 Trace metals in suspended particulates of the lake	95
6.4 Trace metals in sediments of the lake bottom	100

6.5 Periodicity of trace metals' behaviour in the lake.....	103
7. Characters of recent sediments in Qinghai Lake	112
7.1 Introduction to recent sediments in the lake.....	112
7.2 Character of classic sediments in the lake.....	114
7.3 Carbonates in recent sediments in the lake	119
8. Prediagenesis of recent sediments in Qinghai Lake and its environ- mental evolution	131
8.1 Prediagenesis variation of recent bottom sediments in Qinghai Lake ...	131
8.2 Diagenesis of sediments on Qinghai Lake banks	143
8.3 Variations of porosity textures, elements, minerals and oxygen and carbon stable isotopes during diagenesis	148
8.4 Evolution of environment in Qinghai Lake	167
9. Biogeochemistry of recent sediments in Qinghai Lake.....	168
9.1 Samples and experiments	168
9.2 Abundance of organic matter in recent sediments.....	170
9.3 Alkanes and alkenes in recent sediments.....	176
9.4 Fatty acids and other compounds in recent sediments.....	188
9.5 Terpenoids in recent sediments.....	202
9.6 Sterenes in recent sediments	216
9.7 Amino acids in recent sediments	216
10. Evolution of the recent climate and environment around the Qinghai Lake area	225
10.1 Measurement of $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, Mg/Ca and Sr/Ca ratios of ostracoda shell in recent sediments in the lake area.....	225
10.2 Distribution character of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values in shell carbonates.....	227
10.3 Distributions of the Mg/Ca and Sr/Ca ratios in shell carbonates.....	228
10.4 Carbonates in recent sediments and mineral phase variation as environ- mental indicators	229
10.5 Concentration variations of organic matter and amino acid in recent sediments as environmental indicators	230
10.6 Evolution of recent climate and environment (12 000a B.P.) in the lake area	230
11. Evolution of the recent ecological environment in the lake area	240
11.1 Current situation of ecological environment in the lake area	240
11.2 Main problems existing in ecological environment in the lake area ...	255
11.3 Evolution of recent ecological environment in the lake area	260
Concluding remarks.....	262
References	264
Explanation of plates	269

第一章 青海湖区概况

青海一名起源于北魏,历代尚有“西海”、“仙海”、“鲜水海”和“禾羌海”之称。现代藏语谓“错鄂姆博”,蒙语称“库库诺尔”。

一、青海湖区自然地理及地质概况

(一) 自然地理简况

青海湖区位于青藏高原东北隅,湖区介于东经 $97^{\circ}50'$ — $101^{\circ}20'$,北纬 $36^{\circ}15'$ — $38^{\circ}20'$ 之间,流域面积约 $29\,660\text{km}^2$ (图 1-1)。

湖区地势为西北高而东南低,形成了四周群山环绕的封闭式山间内陆盆地,湖南为青海南山,东为日月山,西为阿木尼尼库山,海拔 $3\,600$ — $4\,000\text{m}$,北面为大通山脉,海拔多在 $4\,500\text{m}$ 以上,最高峰可达 $5\,200\text{m}$ 。湖区山地面积大,约占流域面积的 68.6% ;河谷和湖积平原所占面积较小,为湖区面积的 31.4% 。山势陡峻、沟谷密布并多冰蚀地形。

湖区地貌类型复杂多样,从低到高有滨湖平原、冲积平原、河谷平原,在青海湖西部和北部河漫滩、三角洲及河流堆积阶地发育;东北部分布有大面积风沙堆积,其中有沙丘、沙堆和沙垄,东部沙丘多为半固定和固定型;围湖有 2—3 级湖积阶地,一般高出湖面 2 — 3m ,最高可达 50m ,环湖西北部见湖蚀基岩阶地,湖东有连岛沙坝和沙咀,沙堤以湖东耳海一带最为发育。在平原与山麓接触带多见坡积裙和洪积、冲积扇。

山地形态以近湖中、低山为主,远湖高山区仅分布于湖区北部,据《青海湖综合考察报告》资料,湖区山地的高、中、低山带与该区三级夷平面相当。现代冰川主要分布于布哈河上游阳康曲和希格尔曲的源头一带,有悬冰川、冰斗-悬冰川、冰斗冰川及冰斗-山谷冰川等类型,冰蚀地形、冰积地貌发育。

在阿木尼尼库山、鸟岛、海心山及哈尔盖北侧尚可见到零星分布的湖蚀洞穴,最高者距湖面约百米。

(二) 地质概况

据前人研究,青海湖区位于祁连褶皱带的南缘,介于南祁连槽背斜与青海南山槽向斜之间。是喜马拉雅晚期新构造运动产生的一个断陷盆地,其主要受北西西向、北北西及近南北向三组断裂构造格局所控制。

湖区北部的大通山走向北西西,山脉基岩裸露,刚察县以西主要为三叠纪砂、页岩,东段则为前震旦纪变质岩,主要岩性为片岩及片麻岩,并有花岗岩侵入体;湖区西部布哈河以北出露早古生代砂岩、千枚岩、片岩、混合片麻岩和火山岩,并夹结晶灰岩;湖区东部日月山,走向北北西,由前震旦纪片麻岩、花岗片麻岩、花岗岩和花岗闪长岩等组成;湖区南

部为青海南山,呈北西西向展布,由早古生代千枚岩、石英砂岩、片岩、片麻岩、花岗岩和二叠-三叠纪灰岩、变质砂岩、板岩及火山岩等构成。此外,在青海南山北麓、湖区西部黑山北侧、东部野牛山及海心山等局部地区有第三纪红层零星出露。

湖周平原为第四纪冰水沉积,根据中国科学院兰州地质研究所(1979)所揭露的最深钻孔(210m),除顶部外,岩性主要由上、下两个由粗至细的湖相沉积旋回组成,根据所含介形类、腹足类及孢粉组合定为更新世;另据中国科学院青海盐湖研究所1985年对湖南二郎尖钻井150m岩心的古地磁研究,也属更新世产物。由此可见,湖区第四纪沉积至少大于210m。湖底全新世沉积为富含藻类和介形类的湖成灰泥,厚约5m。

二、青海湖区气候及植被简况

(一) 气候

青海湖流域处于我国东部季风区、西北部干旱区和西南部高寒区的交汇地带,并有其自身的湖泊效应,因而有明显的地区性气候特点,干寒、少雨、多风、太阳辐射强烈、气温日较差大,属高原半干旱高寒气候区。

湖区气温多年平均值为 -0.7°C ,最热月(7月)平均气温 $10.4-15.2^{\circ}\text{C}$,最冷月(1月)平均气温 $-10.4-14.7^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 28°C ,极端最低气温 -31°C 。每年12月至翌年3月湖面冰封,冰厚最大可达60—80cm。根据青海省气象局的研究:青海湖地区年均气温由湖外向湖内递增,即越靠近湖水年均气温越高,其影响范围为距湖水10km。由于大型水体湖泊效应的存在,在环湖一定范围内气温日较差减少,无霜期延长。

湖区太阳辐射强烈,总量 $6.2 \times 10^{15}-7 \times 10^{15} \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;前者为湖东海晏湾数据,后者为湖中海心山数据。

湖区降水,据湖周五台站资料多年平均值为319—395mm,降水量多集中在6—8月份,周围山区年降水量大于400mm。降水量的分布特点为由湖心向湖周山区递增。据许学江等人资料,湖中海心山年降水量为214.7mm。研究表明青海湖区降水分布较不均匀,湖外降水多,湖内降水少;湖区东南部降水多而西北部降水少。湖区外围平均年降水量为360mm,湖内平均年降水量约为250mm。

青海湖区的年蒸发量在800—1100mm之间,一般湖滨平原大于湖周山地。一年之中夏季蒸发量最大,每年6—9月的蒸发量占全年总量的60%,冬、春季节蒸发量最小,最小值多集中于12月至翌年1月。

青海湖区气候的另一特点为湖陆风盛行,据青海省气象局1985—1987年统计,刚察冬季湖陆风出现率可高达63%。通常白天多湖风(风从湖内向陆地吹),而夜晚多陆风(风从陆地向湖吹)。据许学江等人资料,湖内平均风速比陆地约大2m/s,最大风速约大4—6m/s,湖内静风率比湖外约少一半以上。

(二) 植被

青海湖区植被主要为高寒灌丛、高寒草甸草原。大体上可划分为如下几种类型:

1. 温性草原

以芨芨草 (*Achnatherum splendens*)、短花针茅 (*Stipa breviflora*) 为主, 分布于青海湖东部海晏湾、北部刚察及东南边缘山坡地带。在青海湖的北部和西北部以紫花针茅 (*S. purpurea*)、高山苔草 (*Carex ivanovae*) 为主, 并伴生有青海固沙草 (*Orinus kokonorica*)、棘草 (*Leymus secalinus*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)、紫羊茅 (*Festuca rubra*) 等。局部地区种植有青稞、油菜等耐寒、耐旱农作物。分布范围为海拔 3 000—3 600m。

2. 小半灌木荒漠

以中麻黄 (*Ephedra intermedia*) 为主的半灌木荒漠, 分布于青海湖东北部, 介于尕斯库勒湖以东至海东羊场之间的沙滩和沙丘上, 地处温性草原与湖缘线之间, 呈新月型分布, 并伴生有刺叶柄棘豆 (*Oxytropis aciphylla*), 在羊场北部沙山半腰生长有沙地柏 (*Sabina vulgaris*)。小半灌木荒漠分布范围为海拔 3 100—3 350 m。

3. 高寒灌丛

以毛枝山居柳 (*Salix oritrepha*)、箭叶锦鸡儿 (*Caragana jubata*) 为主, 生长在湖区山地中上部的阴坡上, 它的边缘与高寒草甸相连。分布范围为海拔 3 450—3 650m。

4. 高寒草甸

以莎草科的蒿草为主, 如矮蒿草 (*Kobresia humilis*)、小蒿草 (*K. pygmaea*)、珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*)、高山唐古草 (*Thalictrum alpinum*) 等。生长范围为海拔 3 200—4 500m。

此外, 在北部山区局部阴坡分布有青海云杉 (*Picea crassifolia*)、山地的局部阳坡分布有祁连圆柏 (*Sabina przewalskii*) 疏林。

三、青海湖区的湖泊与水系

(一) 湖 泊

青海湖湖泊水域位于湖盆流域的东南部, 介于北纬 36°32′—37°15′、东经 99°36′—100°47′ 之间, 形状似梨形, 长轴走向北西西, 东西长约 106km, 南北最宽处为 63km, 西宽东窄, 最狭处约 20km, 湖周长 360km, 湖面高程 3 195.59m(1988 年), 湖水面积 4 400km², 除青海湖边缘地区及断块隆起地区外, 一般水深为 21m, 最大水深 25.5m(1985 年实测)。湖水呈弱碱性, pH 值为 9.23, 相对密度 1.0115, 含盐量 14.134 g/l(162 个样品平均值, 1985 年)。湖中岛屿有两处: 一为海心山(图版 I, 图 1), 一为三块石(图版 I, 图 2 和图版 II, 图 1)。《青海湖综合考察报告》中所论及的蛋岛、鸟岛已不成其为岛而与陆地相联, 其东北部的沙岛也已变成陆地, 20 余年来该湖在内、外地地质营力作用下, 发生了较大的变化。

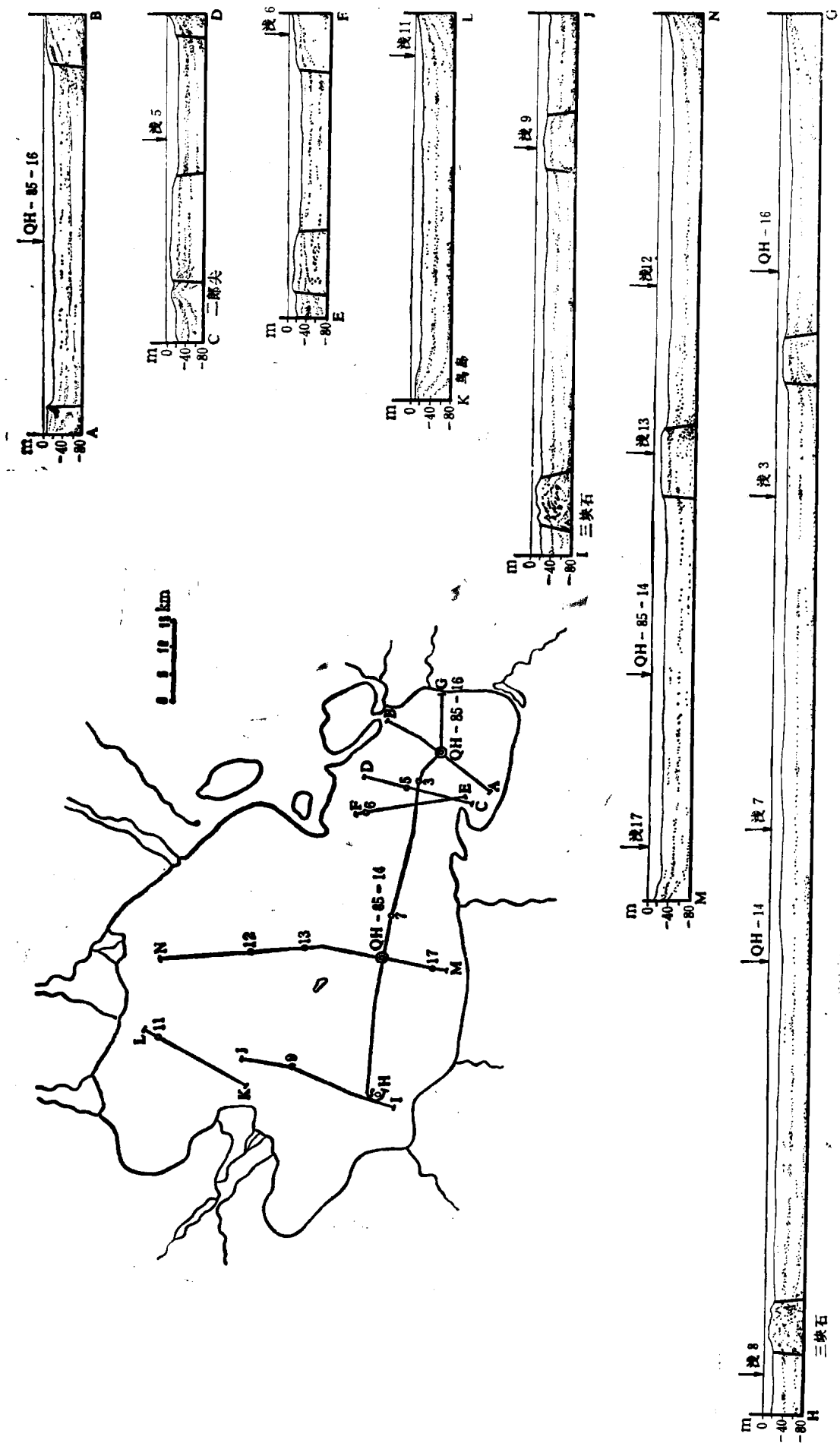


图 1-2 青海湖湖底浅层地震剖面图

根据 1985—1987 年中、瑞、澳联合考察时所测的浅层地震剖面得知：湖底地形边缘陡急、中部广大地域湖底十分宽平(见图 1-2)，根据 C-D、E-F、G-H 三条浅层地震剖面判断：在一郎尖至二郎尖间为一地垒形，楔状断裂向湖区延伸，走向约北东 45° ，地垒顶部南高北低，断层面几近直立，南部上升速率大于北部(见实测地震剖面 E-F 的局部)(图版 II，图 2)。此外，近湖水边缘的湖底地形，多为断层接触。我们在 I-J 剖面的浅钻 9 和 M-N 剖面的浅钻 13 均见到断裂形成的湖底地垒地形，但走向不详，它们与 E-F 剖面所见断裂地垒一样，层面均为南高北低(见图版 II，图 3；图版 III，图 1)。从二郎尖至海晏湾以及三块石、151 厂至海晏湾南端等地震剖面判断，青海湖为挤压型断陷湖盆(图版 III，图 2, 3)。湖底所见这些断层无疑为生长断层，即同沉积断层，可见其年代较近。

在青海湖的东面有四个子湖，由北而南分别为尕海、新尕海、海晏湾和耳海。

1. 尕海

尕海位于青海湖东北部，面积约 47.5km^2 ，长轴走向北西，轴长约 12km，短轴最宽处约 6km。湖水深 8—9.5m，呈弱碱性，pH 值为 9.25，相对密度为 1.0229，湖水含盐量为 31.734 g/l (19 个样品平均值)。根据刘学休¹⁾资料：1970 年实测尕海水面标高为 3 196.83m，比同期青海湖水面高 0.24m，在尕海与青海湖之间的沙梁上，于现代风成沙丘之间的洼地上，分布着无数面积很小的湖塘，这些丘间湖塘不具统一水位标高(3 197.91—3 201.25m)，它们比青海湖水位通常高 1.32—4.66m，比尕海水位高 1.08—4.42m，并由此推测该三类水体不存在互补关系。这些湖塘水的矿化度在 $0.14\text{—}7.1\text{g/l}$ 之间，低于青海湖和尕海。

2. 新尕海

新尕海位于尕海以南约 8km，在 1960 年的地形图中沙岛的右侧，面积约 16km^2 ，水深、湖水含盐量等不详。根据 1956 年航测和 1960 年版地形图该地全为青海湖湖水覆盖，1973 年卫星照片显示该湖已基本与青海湖主体分离，仅在其南缘湖水有小部分与大湖沟通，1988 年卫星照片表明该新尕海已完全成为独立的水体。由此可见，新尕海与母湖的分离，仅是近 20 年来的事实，它是沙岛抬升和水位下降等综合因素共同作用的结果。

3. 海晏湾潟湖

1962 年中国科学院兰州地质研究所等单位在青海湖进行综合考察时，机帆船出入海晏湾畅通无阻，但时隔近 30 年海晏湾已成为潟湖，作者等人于 1989 年实地考察，海晏湾与青海湖湖水相连处仅几百米。该潟湖面积约 98.5km^2 。湖水深 12—13m，湖水 pH 值为 8.94，相对密度 1.0161，含盐量为 $17.83\text{—}18.09\text{g/l}$ 。在湖底近代沉积物中有水菱镁矿析出，湖岸东部临近湖水边缘也有水菱镁矿堆积(图版 IV，图 1)。

4. 耳海

耳海位于青海湖东南，面积约 5km^2 ，水深 2—5m，pH 值为 9.52，相对密度 0.9983，含

1) 刘学休，1989，青海湖尕海地区风化成砂丘水汽凝结及其意义。

盐量为 1.393—0.896g/l。该湖与青海湖间为湖堤与沙滩所隔。由于耳海水质较淡,所以湖底水草及水生生物较其他子湖发育。

(二) 水 系

根据青海省水文总站资料,注入青海湖的河流,流长大于 5km 者约有 50 余条,其中多数为季节性河流。由于湖区流域范围内,西部及北部山区腹地辽阔,地势高峻,南及东部山区狭窄低矮。所以西北部水系较东南部发育,其中较大的河流有五条。

布哈河是湖区最大的地表径流,位于青海湖西北部,河长 280 余公里,集流面积约 14 300km²,约占青海湖流域面积的一半,水系呈不对称的羽状分布,年平均径流量 $7.85 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

沙柳河位于湖区北部,是该流域第二条大河,河长 109.5km,集流面积约 1 440km²,年平均径流量为 $2.46 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

哈尔盖河位于青海湖北部,是湖区第三条大河,河长与沙柳河相当,集流面积约 1 420km²,略逊于沙柳河,年平均径流量为 $2.42 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

乌哈阿兰河也位于青海湖北部,河长 63.4km,集流面积约 560km²,年平均径流量为 $5.4 \times 10^7 \text{m}^3$ 。

黑马河位于青海湖南部,河长 17.2km,集流面积约 110km²,年平均径流量为 $1.1 \times 10^7 \text{m}^3$ 。

上述五条河流的年总径流量为 $1.3385 \times 10^9 \text{m}^3$ 。占入湖地表径流量的 83%。全流域地表径流量为 $1.612 \times 10^9 \text{m}^3$,所余部分则为湖区其他 40 余条河流径流量的总和,由此可见,除上述五条河流外其他河流的年均径流量是很少的。

青海湖流域大部分河流为雨、雪补给型河流,其流量依降水量的多少而变化,年内分配很不均匀,最大水量集中于 5—9 月,占全年径流量的 85% 以上。此外这里值得指出的是,源于湖东南部的倒淌河注入耳海,湖东北部的甘孜河注入青海湖与尕斯库勒湖。

青海湖区诸河水的 pH 值在 8.17—8.89 之间,呈弱碱性,绝大部分河水的相对密度低于 1,其矿化度均低于 1 g/l,平均矿化度为 0.3185g/l(据 1985 年 24 条河实测统计)。

青海湖流域年总输沙量约为 $4.98 \times 10^5 \text{t}$ 。其中布哈河输沙量约 $3.55 \times 10^5 \text{t}$,占总量的 70% 余,正因为如此,目前布哈河水上三角洲已前移至鸟岛。

青海湖流域地下水总的分布规律为:四周山区为补给带;山前洪积、冲积倾斜平原为径流渗入带;环湖湖滨平原为地下径流排泄带。它们的富水程度取决于山体的宽度,因此青海湖北部地下水较其南部丰富。

根据青海省地质矿产局资料,山区基岩裂隙水多分布于断裂破碎带和残积层中。多以上升泉的形式出露于断裂带附近,泉水分布较广,水量较丰富,以流量为 0.8—4.0m³/h 分布最广,本区泉水的最大流量为 4—21m³/h,最小流量为 0.4m³/h。

山区河谷平原砂砾孔隙水以潜水形式赋存于碎屑层中,水位埋深多小于 15m,单井涌水量为 62—125m³/h,含水层厚 20—70m。

山前倾斜平原第四纪砂砾层潜水,含水层厚 25—75m,水位埋深 25—5m,从山麓至湖滨平原埋深由大至小,水量十分丰富,在湖区北部洪积扇上单井涌水量可达 80—160

m^3/h ,湖区南部含水层较薄,单井涌水量为 $20-80\text{m}^3/\text{h}$ 。

湖滨平原地下水为砂砾层潜水和承压水两类。潜水含水层厚 $10-25\text{m}$,埋深通常小于 6m ,单井涌水量为 $20-40\text{m}^3/\text{h}$;承压水层累厚 $30-100\text{m}$,单层厚 $10-40\text{m}$,埋深各地不同,从十几米至数百米。单井涌水量为 $20-80\text{m}^3/\text{h}$ 。

上述这些地下水的矿化度均低于 $0.5\text{g}/\text{l}$,它们的补给无疑属大气降雨、降雪及水汽地表凝结水。

综上所述,青海湖区的地表、地下径流除以部分蒸发排泄外,地表径流则最终补给青海湖及其子湖,而地下径流则也部分通过湖周地下水溢出带,变成地表溪流注入湖中,这里值得强调的是,部分承压地下水还通过湖底断裂带直接补给青海湖。正因为如此,所以湖底泉华在青海湖的一些地带十分发育。

四、青海湖的形成与发展

关于青海湖的形成与发展,《青海湖综合考察报告》中已做了较为全面的论述。其主要观点是,青海湖至少是在早、中更新世就已形成的新构造断陷湖,它经历了早、中更新世的河湖共存阶段,并于中更新世随着东部山区的隆升闭塞而由外泄湖变成内陆闭流湖;中、晚更新世为湖泊发育的全盛时期;全新世以来湖面缩小,水位下降。概括起来讲即青海湖形成于早、中更新世,此时它是黄河水系的一部分,正像目前青海省海南自治州的扎陵湖一样是个外泄湖,中更新世的新构造运动使外泄断流成为山间湖盆。

关于青海湖的形成时代问题,目前多数人仍引用上述文献。形成时代的关键在于湖相最低层位的准确测年,然而新生代以来的测年方法虽多但尚不成熟,多数学者应用古地磁事件以判识第四纪以来的概貌。60年代初,国内还没有采用测年技术(近代测年),因此,青海湖的形成时代问题是今后值得深入研究的课题。但根据中、瑞、澳联合考察时在二郎尖阶地钻井(150m)所获得的岩心表明:深 50m 以上为湖相, $50-76\text{m}$ 为河流沼泽相, $76-150\text{m}$ 为河流砂砾和风成沉积,经古地磁测定埋深小于 120m 为布容赫斯正极性期,大于 120m 为松山负极性期。因此,大体上可以肯定 120m 时限为距今 73 万年。该岩心所揭露的岩性与 1962 年《青海湖综合考察报告》中的青 5 孔(210m)是一致的(见图 1-3),因此我们认为青海湖的形成时间要晚得多,不是早、中更新世而是中、晚更新世,其年龄为距今 21 万年,如果以河湖共存为界的话,那么最多再往前推移 14 万年,其开始形成的下限,最早也不会超过距今 35 万年。诚然,一口井岩心的测年数据不足以完全肯定青海湖的形成时间,考虑到中国科学院兰州地质研究所(1961—1962 年)围绕湖区所打的数口钻井岩心,其岩性均可与 QH-86 对比。因此,青海湖的形成时间暂定为距今 21—35 万年。所谓“暂定”,其主要原因是,二郎尖阶地恰位于新构造断裂的上升盘,如果能在青海湖适当水域内打一深钻,就能完全肯定其形成时代的下限。所以,根据目前所拥有的资料只能暂定为距今 21—35 万年。

关于全新世以来青海湖的演化历程问题,多数学者认为,全新世古青海湖的发展是由大至小,全新世初期古湖面积比现在约大 $1/3$,水位高出现在湖面 100m 。如果这种论述正确的话,那么至少二郎尖阶地上部应有全新世湖相沉积(二郎尖阶地高出湖面仅 10 余米),事实上阶地剖面的顶部是黄土而非湖相沉积。根据中、澳、瑞联合考察组以及西部