

第六届国际盐湖学术讨论会论文选集

盐湖资源环境与全球变化

郑绵平 主编



地质出版社

第六届国际盐湖学术讨论会论文选集

盐湖资源 环境与全球变化

郑绵平 主编

地质出版社

· 北 京 ·

内容简介

本书选编了第六届国际盐湖学术讨论会论文中的 20 篇论文。内容包括：盐湖记录与全球变化；盐湖地质与地球化学；盐湖生物、生态学与生物地球化学以及盐湖化学矿产和生物资源的勘查、开发与综合利用等。

本书可供从事盐湖研究、开发、盐湖生物调查、研究，湖泊资源调查、研究，古环境、古气候研究以及石油地质研究和环境保护工作者参考，也可用作相关专业的研究生和大学生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

盐湖资源、环境与全球变化：第六届国际盐湖学术讨论会论文选集/郑绵平主编.-北京：地质出版社，1996.9

ISBN 7-116-02169-8

I. 盐… I. 郑… III. 盐湖-国际会议；学术会议-文集 N. P941.78-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 09463 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑：刘浩龙

*

中国地质科学院 562 印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092 1/16 印张：11.75 字数：286000

1996 年 9 月北京第一版·1996 年 9 月北京第一次印刷

印数：1—400 册 定价：20.00 元

ISBN 7-116-02169-8

P·1628

目 录

前 言	(1)
国务院副总理邹家华在第六届国际盐湖学术讨论会开幕式上的讲话	(3)
从盐湖沉积探讨 40ka B. P. 以来青藏高原古气候演替	郑绵平 刘俊英 齐 文 (6)
青藏高原 30ka 以来的构造上升运动及其对青藏盐湖演化、东亚及全球环境的影响	朱允铸 刘成林 (21)
柴达木盆地盐湖的特征与形成机理	吴必豪 王弭力 刘成林 李长华 (28)
柴达木盆地西部盐类矿床形成机理——“反向湖链”模式	刘成林 王弭力 陈永志 李长华 (37)
从现代察尔汗盐湖的聚盐沉积作用探讨其晚更新世末期以来的演化	吴 蝉 宋懿生 (46)
据高灵敏度航空伽玛能谱资料探讨内蒙古巴彦浩特盆地(腾格里沙漠)	
第四系成钾远景	崔天秀 (55)
鄂尔多斯盆地东北部达拉特旗芒硝矿床地质特征及成矿条件研究	田孝先 (64)
察尔汗盐湖溶解驱动开采钾盐的数值模型研究	李文鹏 刘振英 (70)
合同察汉淖碱湖成因探讨	周建民 杨清堂 (86)
柴达木盆地昆特依盐湖的演化及富钾卤水的形成与分布	罗 梅 贾疏源 (94)
盐湖中盐度对生物群落构成的重要性	W. D. 威廉姆斯 (103)
中国碱湖中的嗜盐碱古细菌	田新玉 周培瑾 王大珍 (115)
柴达木盆地第四纪盐湖、微体化石与天然气资源	孙镇城 李东明 彭立才 (121)
中国老第三系盐湖相烃源岩的形成及地化特征	方朝亮 孙镇城 张枝焕 李启明 彭立才 (129)
实验室盐度和氮素胁迫条件下杜氏藻 <i>Dunaliella viridis</i> Teodoresco 的适应策略	Carlos Jimenez F. X. Niell (136)
中国盐湖及碱湖中嗜盐菌及嗜碱菌研究简介	王大珍 (145)
中国内陆盐湖的卤虫资源	朱礼祥 孙钜钜 商占恒 Patrick Sorgeloos (151)
澳大利亚新南威尔士州内陆 Paroo 东部盐湖特殊湖泊类型学的进一步研究	B. V. Timms (158)
富硼钾卤水综合利用途径研究	
——四元体系 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ / \text{Cl}^- - \text{B}_4\text{O}_7^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ 25 C 时相平衡研究	邓天龙 唐明林 阎树旺 (174)
东台吉乃尔湖晶间卤水兑卤制取高品位钾镁混盐	杨建元 程温莹 邓天龙 张 勇 (179)

前 言

首次由中国主办的国际盐湖会议——第六届国际盐湖学术讨论会，于1994年7月14—19日在北京召开。国际盐湖学术讨论会是由国际盐湖研究协会(International Consortium for Salt Lake Research)发起的、代表当代国际盐湖研究和资源开发利用最新发展趋势的专业学术会议。会议每三年召开一次，自1979年迄今已举行过5次(1979年在澳大利亚；1982年在加拿大；1985年在肯尼亚；1988年在西班牙；1991年在玻利维亚)。

中国政府和各有关单位非常重视本届会议，邹家华副总理出席了会议开幕式，并作了题为“重视盐湖研究、注意盐湖资源的合理开发与综合利用及加强其生态保护与管理”的重要讲话。来自15个国家的约100位专家学者参加了本次会议。开幕式由地矿部宋瑞祥部长主持，我国著名学者涂光炽、程裕淇、叶连俊、孙殿卿、郭文魁、宋叔和、刘东生、刘恕等应邀出席了开幕式。在学术讨论会后，还组织了西藏、青海两条盐湖路线考察，考察中得到当地政府的大力支持。会议取得了圆满成功。

本次会议的主题是盐湖资源、环境与全球变化。议题有：(1)盐湖记录与全球变化；(2)盐湖地质与地球化学；(3)盐湖生物、生态学与生物地球化学；(4)盐湖生态体系及其与盐度、水化学组成和气候的关系；(5)人类活动对盐湖区的影响与盐湖区环境保护；(6)盐湖化学矿产和生物资源的勘查、开发与综合利用。

据各方面反映这次会议取得了如下几点主要收获和认识：

1. 交流了国际盐湖研究与开发的多学科最新成果。会议确定出版第六届盐湖会议中、外文论文选集，外文版拟由比利时Kluwer Academic Publisher出版。

2. 会议提供了一个向国际同行展示我国盐湖研究成果的大好机会，从而提高了中国盐湖界在国际上的地位和公众对盐湖科技重要性的认识。

3. 这次会议为今后我国盐湖研究与开发同国外接轨创造了一个重要的机会。

4. 会议提供了我国盐湖研究与开发同国外对比的一面镜子。我国虽在盐湖地质矿产、古气候等若干领域的研究达到国际水准，但在盐湖矿产综合利用和高值化研究及盐湖生物和盐湖生态环境研究方面与国外相比还有相当差距。盐湖不仅是一类矿产资源，而且是很重要的生物和旅游资源。目前国际上在盐藻、盐卤虫等方面的研究已较系统深入并已达到产业化程度，它是人类索取蛋白质、食用色素和多种工业、科学材料的新领域。它是崭露曙光的“21世纪新产业”(钱学森)。我国是多盐湖国家，13个省区有盐湖和地下卤水湖分布，湖区居住有2亿多人口。我国还拥有长达18000km长的海岸线，有众多盐田分布，具有发展“盐湖农业”的巨大潜力。盐湖及其生态环境与当地人民生活息息相关，值得进一步开展研究。

经对论文进行详细、严格的审改和编辑，本书选编了20篇论文，以飨读者。

借此机会，我谨代表会议学术委员会同仁，向为本届会议作出贡献的国内外组织和同行，特别是上届国际盐湖协会主席W. D. Williams教授，中国科学院盐湖研究所陈克造、于

升松研究员，国际第四纪委员会主席刘东生先生和西藏自治区人民政府副主席杨松等同志及对本届会议和本书的资助单位地质矿产部、西藏自治区人民政府与西藏科委、国家自然科学基金委员会、西藏地矿局、中国盐业总公司、中国地质学会及国际湖泊环境基金会（International Lake Environment Committee Foundation）和美国国际科学基金会表示衷心的感谢。

第六届国际盐湖学术讨论会学术委员会主席
国际盐湖协会副主席

郑绵平

国务院副总理邹家华在第六届 国际盐湖学术讨论会开幕式上的讲话

尊敬的女士们、先生们：

首先我代表中华人民共和国国务院和中国人民，热诚欢迎来自世界各地的盐湖科学家光临北京，参加三年一度的国际盐湖学术界的盛会！

中国是多盐湖国家，干旱和半干旱区囊括我国 1/2 面积，有一半以上的湖泊为盐湖和咸水湖；13 个省、区有盐湖和地下卤水湖分布。在这些湖区约居住有 2 亿多人口。同时，我国有 18000km 长海岸线，还发展有大量人工盐湖盐田。因此，盐湖的重要性日益得到我国政府的重视。

正如大家所了解的，中国盐湖的调查和开发有着悠久的历史。新中国成立以后，中国盐湖科技工作进入了一个新的发展阶段。在建国初期的 1951 年，我国政务院副总理李富春同志就曾在政务院工作会议上提出，要重视开展我国盐湖调查，盐湖调查研究作为重点项目列入全国科学规划中。通过近 40 年来的盐湖资源调查研究，已查明察尔汗陆相钾盐矿床、吉兰泰石盐矿床和扎布耶锂钾铯综合性矿床等一大批盐类矿产资源，沿海盐田开发也取得了长足进步，为我国国民经济建设作出了重大贡献。近十年来，我国有关盐湖与全球变化和生物资源研究的成果也引起国际同行们的瞩目。

盐湖不仅是种矿产资源，而且也是重要的生物和旅游资源。盐藻、卤虫、螺旋藻等的研究和发展，以及菌紫膜机制的发现，标志着在人类长期经营淡水—海洋生物与低盐耕地之后，一个崭新的盐水域和盐沼开发领域已经出现。全球盐湖广布，盐湖农业的发展空间广阔。大力研究和发展盐湖农业，变盐湖荒滩为“耕地”，对改善盐湖区环境极为有利，而且对弥补因世界人口膨胀和农业生产不足导致的食物短缺亦有重要意义。因此，对这一新的盐湖（盐田）研究领域应予以重视。

盐湖区生态环境与当地人民生活息息相关。为子孙后代长远利益着想，我国干旱、半干旱区在开发盐湖资源的同时，要十分注意资源的合理综合利用和加强生态环境的保护和管理；我国有关部门也应着手把盐湖资源及其环境保护列入国家法规。

我相信，通过这次会议将能促进我国与国外盐湖科技界的交流，推动国际与我国盐湖研究和开发以及环境保护工作的发展。在此，预祝会议取得圆满成功！并祝各位身体健康！谢谢大家。

AN ADDRESS BY VICE PREMIER ZOU JIAHUA AT THE 6TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SALINE LAKES

Ladies and Gentlemen:

On behalf of the State Council of the People's Republic of China and the Chinese people, I would like to extend our warm welcome to the saline lake scientists from various countries of the world who have come to Beijing to attend this triennial meeting—the 6th International Symposium on Saline Lakes.

China is a country with plenty of saline lakes, where arid and semiarid areas cover half of the country's territory, and more than half of the lakes are of saline and salt water type, such kind of lakes are seen in 13 provinces and autonomous regions with over 200 million people inhabiting there. At the same time, China has a 18,000 km-long coastline, and there are developed a large number of man-made salt-lakes and fields. Thus the Chinese Government has paid more and more attention to the study of saline lakes.

It is known that China has a long history of saline lake investigation and development. After the founding of the People's Republic in 1949, the study on saline lakes China has entered a new stage. As early as in 1951, Vice Premier Li Fuchun pointed out at a working meeting of the State Council that great importance should be attached to the investigations on the country's saline lakes and they have been listed as key projects in the National Scientific Programme. The 40 year-long investigations and studies have discovered a number of salt deposits, such as Qarhan continental potash salt deposit, Jartai halite deposit and Zabuye lithium-potassium-caesium deposit, and considerable progress has been made in the development of saltfields in the country's coastal areas. In the last decade, the results of study on the relation of saline lake with globe changes and living resources made by the Chinese scientists have drawn the attention of their colleagues in other parts of the world.

For saline lakes they are not only a kind of mineral resources, but also a important biology resources and resources for tourism. The research and development of haloalgae, *Artemia* and *Spirulina* and the discovery of visual purple membrane mechanism have opened a new domain for the research and utilization of brine and saline swamps after the traditional aquatic culture and agriculture in fresh water or sea and on cultivated land. Since salt lakes are widely distributed on the earth's surface, the newly-developed saline lakes associated agriculture is in the ascendant. To turn salt lake-covered land into farmland is very favourable to the environment of the area and also an important supplement to the problems faced by traditional agriculture, food industry and population expansion in

the world. So more attention should be paid to this new area of the salt lake studies.

The life of residents in salt lake area is closely bound up with the ecological environment there. Considering the interests of coming generations, we should devote more energy to the rational multipurpose utilization of these resources and the enhancement of the protection and management of ecological environment, while developing the saline lake resources in the country's arid and semi-arid areas. The departments concerned in China should start the procedure to put saline lake resources and their environmental protection under the supervision of the National laws and regulations.

I believe that this symposium will promote the exchanges of saline lake scientists and specialists in China with their foreign counterparts, and push forward the research and development of saline lakes, as well as their environmental protection in China and the world. Now, on this occasion I would like to express my good wishes for a great success of the meeting, and wish everyone here good health.

Thank you all.

Zou Jiahua

7, 15, 1994

从盐湖沉积探讨 40ka B. P. 以来 青藏高原古气候演替^①

郑绵平 刘俊英 齐文

(中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心)

提要 本文以多学科研究方法对高原湖面和沉积物变化等大量实际资料进行了综合分析, 论证了青藏高原在大约距今 40—28ka 前存在一个证据确凿的高原最年青的泛湖期(泛河湖期), 依据自 40ka B. P. 至今高原古气候演化的特征, 将其概分为 6 个阶段, 进而论证 40ka B. P. 以来青藏高原隆升对其自身气候的影响; 首次提出其转暖(湿)期具有南早、北晚、东南早、西北晚的穿时性, 其南部约始于 13ka B. P., 北部约始于 11—9.5ka B. P.

关键词 青藏高原 盐湖沉积 泛湖期 穿时性

青藏高原是中国最主要的盐湖区之一, 盐湖分布广泛(图 1), 成为本区古气候变化重要研究对象。

1 40ka B. P. 以来气候演替

据高原湖面和沉积物变化, 本区距今 40ka 以来, 古气候演替大致可分为 6 个阶段。

(1) 40—28ka B. P. “泛湖阶段”^{①②}

在约 40—28ka B. P., 高原湖域浩瀚, 面积大于现代湖泊数倍至数十倍; 水淡而常外流, 河湖串联, 形成泛湖, 以凉冷—潮湿为主。大致距今 30ka 肇始, 高原泛湖体系由北往南相继解体。北部柴达木盆地察尔汗古湖最先约于距今 30ka B. P. 形成盐水湖, 约于 25ka B. P. 成为自析普盐盐湖^[4]。而在 30ka B. P. 之前泛湖期, 其古湖面拔湖在 50—60m 左右(图 2), 其面积至少达到 25000km²(图 3), 现代湖(包括干盐湖)面积为 5850km², 其古今面积比约为 4.3:1; 而其古今体积比则为 50:1。察尔汗之北大、小柴旦湖的古今体积比与其相近(50)(表 1)。但至高原西南部, 泛湖延续时间较长。如藏北湖区(内流区)(见图 2、3)由西至东泛湖广泛分布^[2]; 扎仓-洞错泛湖面积约达 4500km², 而现代 9 个湖泊面积仅为 270km²; 扎布耶-麻米错泛湖面积 9700km² 以上, 现代 12 个湖面积仅 920km²(图 3); 班戈-色林错泛湖面积大于 10000km², 而现代湖 20 个, 面积 3364km²(图 3)。后 2 个泛湖古今面积比为 3~11; 而其体积比约在 8—29 之间(表 1)。

① 国家自然科学基金项目(编号 49070123)及地矿部基础项目(首席科学家张宗桔)资助。

② 即笔者曾指出的青藏高原“大水湖时期”(郑绵平等, 1974, 西藏盐湖硼矿研究报告)。

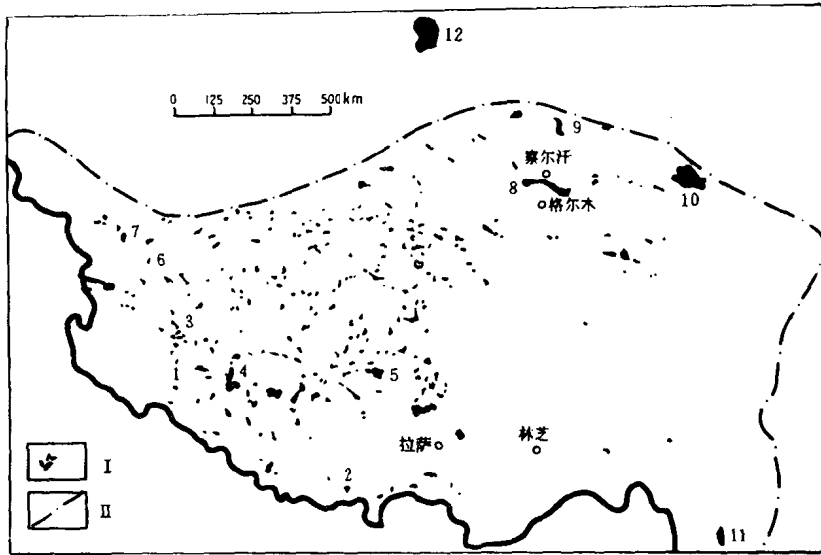


图1 青藏高原湖区及研究点

Fig. 1 Lake areas of the Qinghai-Tibet plateau and study localities

I—现代湖泊(含干盐湖); II—高原边界

研究点: ①佩枯错; ②错木折林; ③札仓茶卡; ④扎布耶湖; ⑤色林错-班戈湖; ⑥龙木错; ⑦阿克赛钦湖;
⑧察尔汗; ⑨大、小柴旦湖; ⑩青海湖; ⑪洱海 ⑫罗布泊

表1 青藏高原古代(泛河湖阶段)与现代湖泊面积与体积对比^①

Table 1 Comparison of the present and ancient (pan-river-lake stage) areas and volumes of some lakes of the plateau

湖群	现代湖 面积 (km ²)	大湖期 (面积 km ²)	古今比	现代湖 体积 (亿 m ³)	大湖期 (亿 m ³)	古今比	备注
青海湖(共和)	4432	14800	3.3	740	8883	12	大湖期外流
大、小柴旦	186	3750	20	1.86	94	50	后收缩为内流
察尔汗	5850	25000	4.3	146	7500	52	
阿克赛钦	182	1403	7.7	18.2	702	39	
龙木错	135	635	4.7	14	477	34	
扎布耶 (—麻米错)	927	>9780	10.6	409.7	11700	29	
色林错 (—班戈湖)	3364	>10000	3	1334	10700	8	
错木折林	108	1800	17	5.1	2700	526	现代湖水 大部外泄

①泛湖期(约在40—28ka B. P.)

藏北湖区高原湖面遗变保存完好,如扎布耶—麻米错泛湖,在28ka B. P.之前的高湖面(溢流面)分布高度距现代盐湖面180—200m之间^②,古湖岸线和湖蚀地貌遍及该区。该

② 据作者新近调查该区在拔湖200m处仍见有晚更新世晚期砂砾沉积。

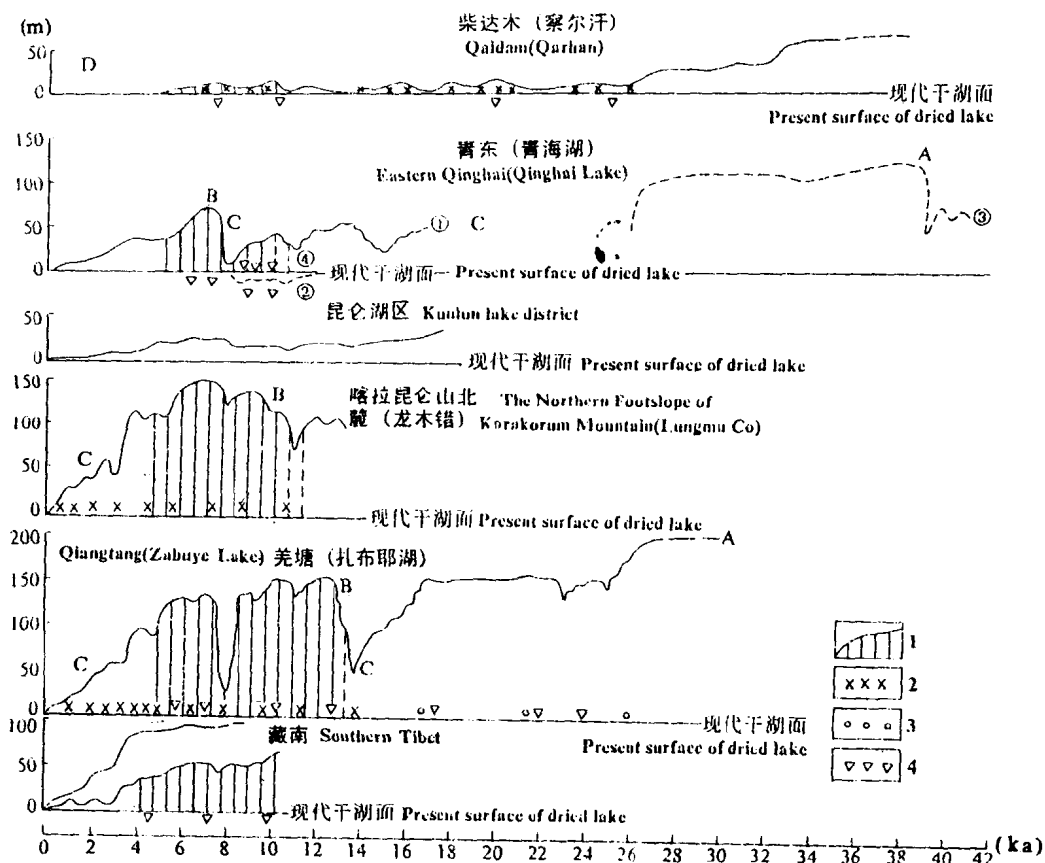


图2 青藏高原古湖面波动略图

Fig.2 Sketch map showing the fluctuation of the ancient lake surfaces on Qinghai-Tibet plateau

A—高湖面(溢流面); B—中湖面; C—低湖面; D—干湖面

1—暖偏湿-暖湿; 2—含盐段; 3—土星介或盘星藻; 4—乔木孢粉高段

①据陈克造等(1985)^[4]; ②据徐国文(1992)^[6]; ③据张彭熹(1994)^[7]; ④据山发寿等(1993)^[8];

高湖面相应的沉积物以含低镁方解石粘土的深湖相沉积占优势, 出现常见于淡水体的 *Limnocythere dubiosa*, 弱耐盐低温的 *Leucocythere mirabilis* 等介形类, 淡水生盘星藻 *Pediastrum simpes* 及喜清静水体的轮藻 *Charophyte* 等繁盛(图4)^①。

(2) 28—19.6ka B. P. 暖湿—暖偏湿阶段

高原南部较北部推迟至28ka B. P. 左右方由高湖面降为中、高湖面, 但其下降的持续时间较长, 如扎布耶湖约在28ka B. P. 水位由高湖面渐向中等湖面下降, 相当于8和7级砂堤(图5), 拔湖(距现代湖面)130—120m。这阶段沉积物以粉砂粘土为主, 有机质含量较高, 介形类和轮藻繁盛。在约26.7ka B. P. 后, 介形类出现喜暖的 *Ilyolypris gibba*, 并见大型蜥蜴类牙化石; 轮藻有 *Chara contraria-vulgaris* 和 *Tolypella* sp.。这阶段初期碳

① 刘俊英, 1994. 西藏扎布耶盐湖近40000年以来的微体古生物与其沉积环境, 第六届国际盐湖学术讨论会论文摘要汇编, 第126页。

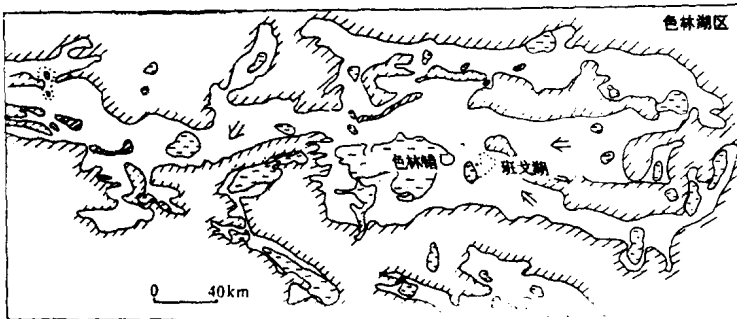
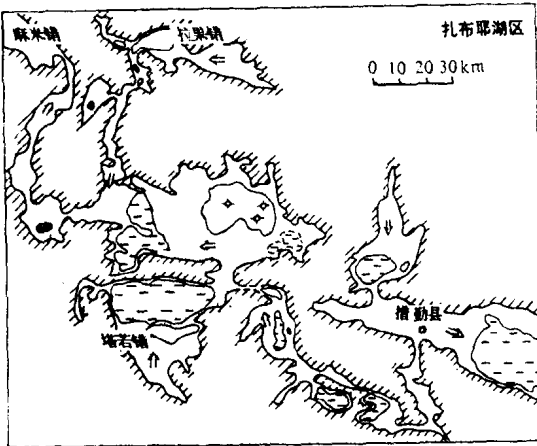
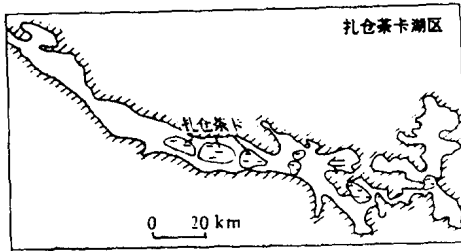
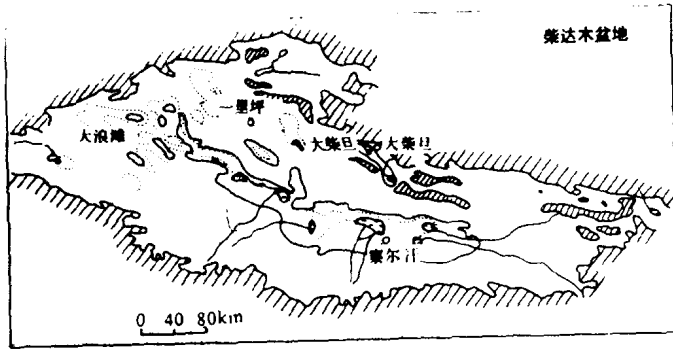


图3 晚更新世晚期(40—28ka B.P.)青藏高原泛湖分布图

Fig. 3 Distribution of the pan-lakes on the Qinghai-Tibet plateau during Q_3 (40—28ka B.P.)

1—湖岸; 2—干盐湖; 3—湖泊; 4—泛河湖; 5—湖水体迁移方向; 6—古火山口

酸盐沉积 $\delta^{18}\text{C}$ 值为 0.6—0.9, $\delta^{18}\text{O}$ 值为 0—13.9, 中后期 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 2.7, $\delta^{18}\text{O}$ 值为 6.6 以上。上述沉积物和微体化石特征, 反映本阶段初期湖区水较深、冷暖交替。中后期湖水深而淡, 且清澈, 水体较为温暖; 而蒸发量较(1)阶段为高。总体而言, 为暖湿气候。本阶段持续时间长达 8000 余年。

此阶段, 北部察尔汗湖区处于低湖面, 约 28—24ka B.P. 出现盐水湖与自析盐湖交替沉积 (见图 2) 含膏盐粘土、粘土^[4]。但据沈振枢等人资料, 在察尔汗湖钻深 52.22m 处即见含盐的粉砂层 (相当于成盐肇始期), 其 ^{14}C 年龄为 $31431 \pm 182\text{a}$ ^[15] (沈振枢等, 1993)。孢粉分析则揭示: 大约自 30—26ka B.P. 以喜暖水生及蕨类植物和乔木比例较高, 约在 26—25ka B.P. 以旱生藻木草本植物为主; 约 25—24ka B.P. 喜暖湿水生 (短棘盘星藻等) 及蕨类植物含量增多, 至 24—20ka B.P. 则以灌木和草本 (麻黄、蒿) 占绝对优势^[16] (图 6)。以上表明, 此阶段气温有所回升, 并有 2 个偏湿 (30—26ka B.P. 及 25—24ka B.P.) 与偏干 (26—25ka B.P. 和 24—20ka B.P.) 的亚旋回变化。

(3) 19.6—13 (13.5) ka B.P. 偏冷干阶段

在高原南部藏北湖区, 于此阶段少数湖泊先后进入盐湖阶段。如扎布耶湖约在 19.6ka B.P. 介形类及轮藻类等微体古生物突然在剖面中消失, 约在 15.5ka B.P. 湖面发生明显下

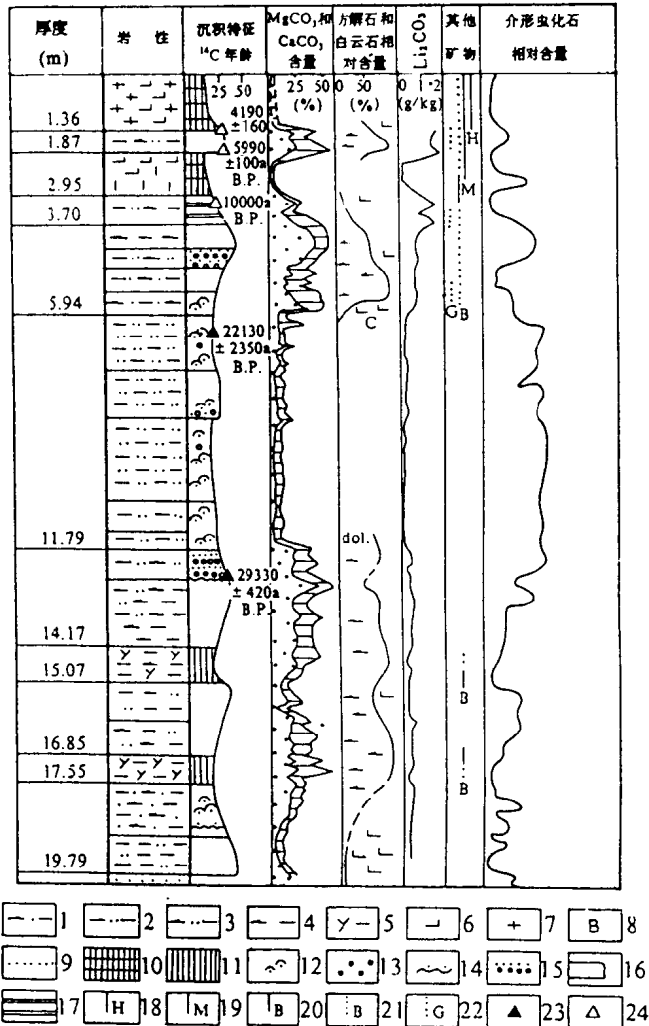


图 4 扎布耶南部 ZK91—2 沉积剖面图

Fig. 4 Sedimentary column of well Zk 91—2 in the southern part of Zabuye, Tibet

1—粉细砂碳酸盐粘土; 2—含粉砂质粘土; 3—含粉细砂碳酸盐粘土; 4—碳酸盐粘土; 5—夹钠硼解石碳酸盐粘土; 6—芒硝; 7—食盐; 8—硼砂; 9—粉细砂; 10—盐类化学沉积; 11—夹盐类沉积; 12—波纹层理; 13—盆内砾石; 14—冲刷面; 15—粒序层; 16—块状层理; 17—水平层理; 18—含食盐沉积层; 19—含芒硝层; 20—含硼砂层; 21—含分散硼晶; 22—含单斜钠钙石; 23—孢粉有机 ^{14}C 年代数据; 24—推算年代

① 引自齐文、郑绵平 (1995)^[4], 本文作了补充修改。

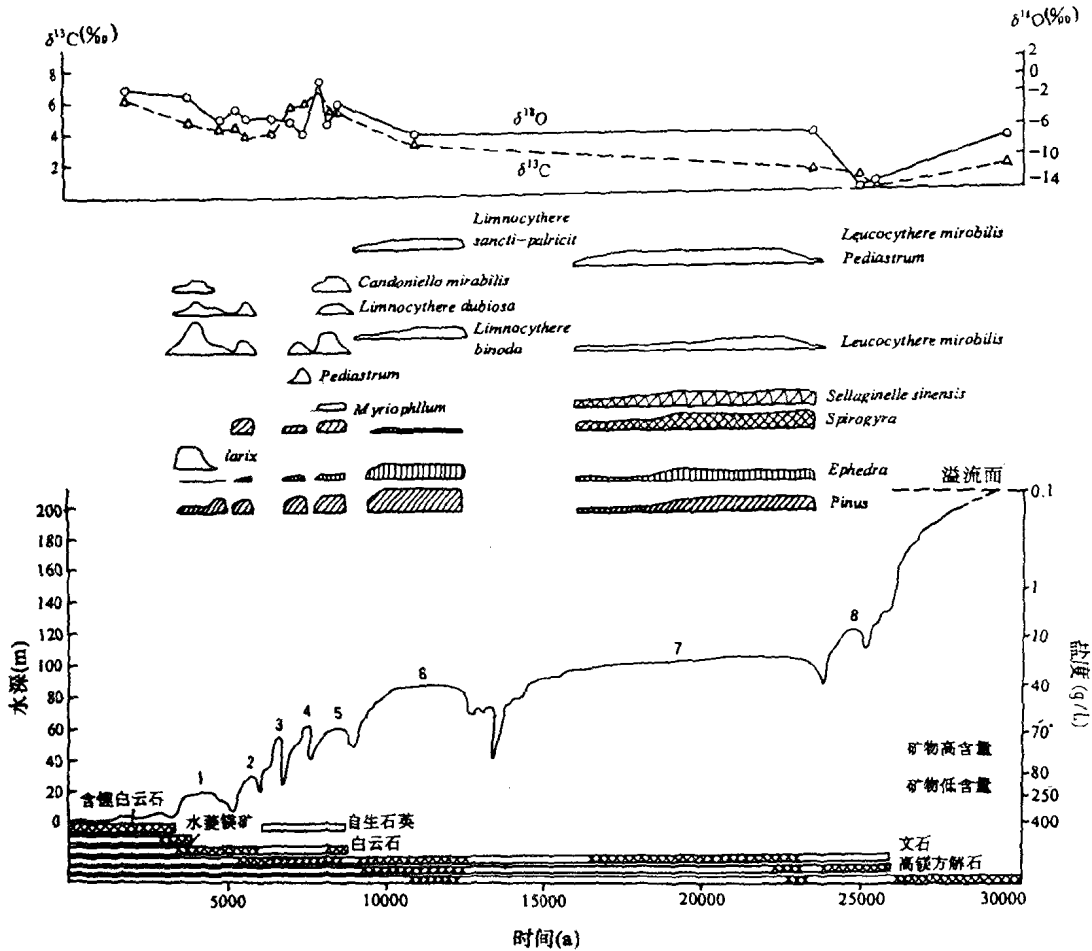


图5 扎布耶湖群、泛河湖水位、盐度和其他特征的演化

Fig. 5 Variations of the water level, salinity and other features of the Zabuye-Mami Co pan-lake

降, 约在距今 13.5ka 湖面下降到此阶段最低点, 相当于浅—中湖面 (拔湖面 80—30m) (见图 2、图 5)。在班戈湖约于 18ka B. P. 见有少量冷相芒硝沉积^[1]。在高原北部, 19.6ka B. P. 后, 察尔汗持续成盐, 约于 19.5—19ka B. P. 为石盐层, 19—18ka B. P. 为含膏盐粉砂粘土层为乔木、蕨类和水生含量高段, 18—17ka B. P. 为石盐层, 而在 16ka B. P. 后均为持续石盐阶段, 并发现钾镁盐沉积^[17]。在柴达木北缘的大柴旦湖, 则在距今约 20ka 前成为盐水湖, 约距今 16.8—14ka 该湖达到成盐高峰, 有大量冷相芒硝^[2]。这表明在高原北部, 距今 16—13ka 以后, 气候已转为冷干为主。

(4) 13 (13.5) —9ka B. P. 暖冷交替阶段

为高原湖面和盐湖沉积变化频繁时期, 高原开始进入暖(湿)、暖冷交替的新阶段。在高原南部甚至在其南邻地区, 约于 13 (13.5) ka B. P. 已率先转暖, 而后逐步向北扩展。在藏北湖区的班戈湖、扎仓茶卡和扎布耶湖等, 约从 13 (13.5) ka B. P. 以来的沉积剖面中, 可见 1—2 个乔木花粉和介形类壳体及 CaCO_3 增高段 (图 6), 湖面起伏较大。在此阶段, 如扎布耶湖至少存在 3 个暖偏湿和 2 个冷干的气候亚阶段。在约距今 13.5 至 13ka 时, 出现

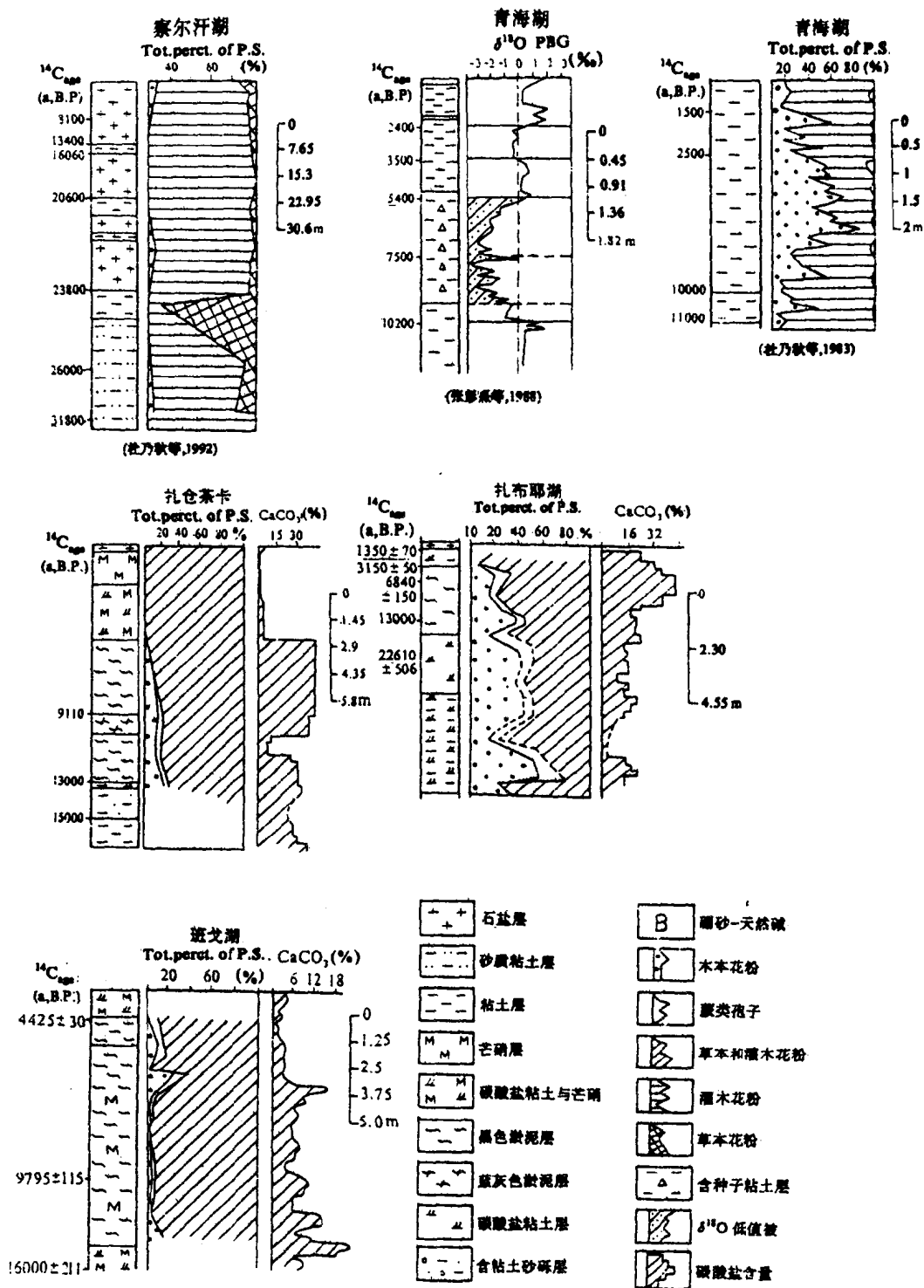


图 6 青藏高原若干盐湖的沉积剖面图

Fig. 6 Some sedimentary profiles of saline lakes on Qinghai-Tibet plateau

大量喜暖土星介 *Ilyocypris gibba* 等和 CaCO_3 高值 (见表 2、图 4), 含锂碳酸盐相对含量也增高, 古湖面拔湖 80m 左右等, 标志着高原 Q₁ 暖(湿)期之肇始。在距今约 12.5ka 前后, 出现干冷相微晶状硼砂沉积, 介形类 *Ilyocypris gibba* 消失, 反映气候趋于冷干。约自距今 12.5—11ka, CaCO_3 和暖相含锂碳酸盐相对含量增高, 硼砂含量骤降, 为暖偏湿亚阶段。约至距今 11—10.5ka 硼砂量增高, CaCO_3 量降低, 介形类趋近消失, 古湖面下降至拔湖 30—40m, 为冷干亚阶段。至约距今 10.5—9ka, 暖相含锂白云石骤增, NaCl 含量增高, 冷相硼砂, 芒硝含量降低, 但介形类生长条件差, 反映湖水盐度较高, 为转暖偏干气候。在藏北湖区东部班戈湖 CK₁ 的地球化学研究^[2], 从自 13.5—10.5ka 可以划分出暖偏湿(湿)—冷干 3 个旋回 (表 2)。

13ka B. P. 前后, 在高原南部首先转暖(湿)并不是孤立的偶然事件。据冰川研究, 藏南的冰川在 13ka B. P. 普遍后退, 冰川末端约上升 100—200m, 气温较前(绒布寺冰阶)上升 0.4—0.8℃。李吉均(1977)据此^[18]将 13ka B. P. 作为西藏全新世底界的依据。在喜马拉雅山脉西南之印度塔尔沙漠迪德瓦纳湖, 在距今 13ka 以前有大量石盐沉积, 并可与末次冰川作用极盛期(LGM)进行对比, 约距今 13000a 为碎屑沉积所代替, 表现为强烈的盐度波动^[26]。在高原东南如滇西洱海和滇池的孢粉研究表明, 约距今 13.5ka, 该区已明显转暖偏湿。洱源周围 15000—10500a B. P. 间, 是“植被发生巨大变化的时代”^{[19]、[20]}。由藏北往北至喀喇昆仑山湖区, 据对龙木错的研究^[25], 在 12ka B. P., 其湖面为中高湖面(拔湖 70m 左右)。柴达木盆地察尔汗西段别勒滩 CK2022 孔剖面的孢粉研究表明^[16], 在 11000a B. P. 后, 该湖气温和湿度有明显回升, 是一个“重要转折阶段”, 因此 11ka B. P. 可作为全新世底界; 青海湖约在 10 或 9.5ka B. P. 气温转暖。据孢粉分析^[9], 约 10.6—9.1ka B. P. 时间段为云杉、松、桦组成的针、阔叶混交林段, 为乔木含量高段(见图 6), 气候较其前期转暖。介形虫壳体的地球化学研究^{[7]、[5]}(见图 6)则表明, 从约 9.5ka B. P. 始, 该湖区气候向偏暖润转化。

(5) 9—3.5 (4) ka B. P. 冷干—偏暖湿交替阶段

在此期间, 高原至少出现 2 个冷干或偏暖干和 1—2 个暖湿或偏暖湿的亚段, 但高原南北相比, 在南部湖泊尚多处于中、低湖面状态, 绝大部分较近代湖面为高, 在暖湿或偏温期, 则湖面多处于中等湖面, 此时的盐湖沉积, 多处于硫酸盐至碳酸盐阶段; 而北部柴达木则处于低湖面以至干涸状态, 盐沉积多已进入氯化物以至钾镁盐沉积阶段。

藏北湖区扎布耶湖-班戈湖-色林湖一带, 大致距今 9—7 (7.5) ka 始, 拔湖 50—60m, 大约在 8ka B. P. 有一次明显低湖面。此阶段内, 约在 7 (7.5) ~ 5.1ka B. P. 有较多冷相芒硝堆积, 以凉干气候为主。本阶段 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素研究表明为偏暖湿段, 早期(约 7.1—6.4ka B. P.) 间有大量细粒硼砂和芒硝沉积, 约在 6.7ka B. P. 的含盐淤泥中发现多量喜暖 *Ilyocypris gibba* 介形虫, 反映在偏凉偏湿的背景下有一次湿热气候颤动。约在 6.4—5.1ka B. P. 暖相锂白云石含量达到高峰, 其中有大量介形类发育, 反映暖偏湿气候环境。约 5.1—3.5ka B. P. 有大量硼砂和芒硝沉积, $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 数值均反映为趋冷干气候。至高原北部, 察尔汗已处于盐湖的晚期, 沉积大量钾镁盐石盐层, 并大致在 6.5ka B. P. 绝大部分盐湖表面已干涸, 仅在其南部边缘有新湖残存。地处过渡区的青海湖, 据介形虫壳体地化研究^[5], 约 9.1—7.5ka B. P. 为热偏干与暖偏干气候, 7.5—3.6ka B. P. 早期暖干后期暖湿。但孢粉分析则表明^[9]: 约在 9.3—8ka B. P. 偏暖干, 8—3.5ka B. P. 以暖湿为主。徐