

青藏高原第四纪重点湖泊地层序列和湖相沉积若干特点

郑绵平^{1, 2, 3)} 刘喜方^{1, 2, 3)} 袁鹤然^{1, 2, 3)} 张成君^{1, 2, 3)} 王海雷^{1, 2, 3)}

1)国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037;

2)中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3)中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心, 北京 100037

摘 要 本项研究对青藏高原代表性第四纪湖泊沉积区作了大范围调查, 北自柴达木昆特依湖和昆仑山口、南抵江布一林芝, 西起甜水海、东至迪庆。据青藏高原地质构造、沉积建造和地貌特点, 将高原第四纪地层区划分为 6 个地层分区: 藏南湖盆分区 (I)、羌塘高原湖盆分区 (II) (羌南湖盆亚区 (II-1) 和羌北湖盆亚区 (II-2))、三江高山河谷分区 (III)、昆仑高山分区 (IV)、柴达木、青海湖盆分区 (V) 和阿尔金—祁连山高山区 (VI)。并对上述 I—V 分区第四纪湖相地层层序作了较详细划分和对比。从而指出青藏高原第四纪湖相沉积具有如下特点: ①除了柴达木—青海湖盆分区外, 其余各分区的湖滨剖面湖相碎屑沉积相对较粗, 而同青藏高原属于全球第四纪最新隆起区相一致; ②在湖盆区的湖相沉积常叠加或伴生冲洪积、风积相和冰碛或冰水沉积以及部分泥石流沉积、化学沉积与热水沉积。它们既反映青藏高原在第四纪隆升进入冰冻圈后湖盆沉积环境时有冷期发生, 又反映高原隆升背景下, 洪水期诱发山崩和泥石流堵塞成湖, 或由于洪水泛滥, 导致高原边缘内流湖决溃、湖泊消失 (如 III、IV 分区), 还反映高原湖泊成盐过程与深部作用、强烈的新构造运动密切相关; ③除了柴达木—青海湖盆分区 (V) 和羌塘高原湖盆分区部分大型湖盆自第四纪以来有连续湖相沉积外, 其他分区第四纪湖相沉积多不连续; ④由于全新世青藏高原日趋干旱, 除了一些现代积水湖盆外, 有相当多湖泊干化, 而缺失顶部湖相沉积。综上所述, 为了获取青藏高原第四纪沉积连续环境记录, 需选择高原内部或周边为数较少的新生代连续沉积盆地。本文论证了柴达木盆地是一个较理想的研究高原晚新生代湖相沉积区, 建议在柴达木盆地实施晚新生代资源环境科学钻探工程。

关键词 青藏高原; 第四纪湖相地层; 第四纪地层分区; 湖泊沉积特点; 资源环境科学钻探工程

中图分类号: P534 63

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)03-293-13

Some Characteristics of Stratigraphic Sequences and Lacustrine Sediments of Main Quaternary Lakes on the Qinghai-Tibet Plateau

ZHENG Mianping^{1, 2, 3)} LIU Xifang^{1, 2, 3)} YUAN Heran^{1, 2, 3)}

ZHANG Chengjun^{1, 2, 3)} WANG Haili^{1, 2, 3)}

1) Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environment Ministry of Land and Resources Beijing 100037

2) Institute of Mineral Resources Chinese Academy of Geological Sciences Beijing 100037

3) R & D Center for Saline Lake and Epithemal Deposit Chinese Academy of Geological Sciences Beijing 100037

Abstract In this study an extensive investigation of representative Quaternary lacustrine sedimentary areas was carried out on the Qinghai-Tibet Plateau. The investigated region extends from the Kunteyi Lake of Qaidam and Kunlun Pass southward to Jiangbulinyingchi and eastward from Tianshuihai to Deqen. According to the geological structure, sedimentary sequences and geomorphology of the Plateau, the Quaternary stratigraphic region of the Plateau is divided into six stratigraphic areas: southern Tibet lake basin area (I); Qiangtang Plateau lake basin area (II) (southern Qiangtang lake basin sub-area

本文由中国地质调查局项目 (编号: 1212010511904、1212010818057)、国家自然科学基金重点项目 (编号: 40531002) 资助。

收稿日期: 2008-03-10; 改回日期: 2008-03-25. 责任编辑: 刘志强。

第一作者简介: 郑绵平, 男, 1934年生, 中国工程院院士, 从事盐湖学与矿床地质学研究; 通讯地址: 100037 北京市西城区百万庄大街 26 号; E-mail: amf@public.bta.net.cn

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

(II₁) and northern Qiangtang lake basin sub-area (II₂), Sanjiang high mountain river valley area (III); Kunlun high mountain area (IV); Qaidam-Qinghai Lake basin area (V); and Altyn Tagh-Qilian high mountain area (VI). We have made a detailed division and correlation of the Quaternary lacustrine stratigraphic sequences for the above-mentioned IV stratigraphic areas and thus pointed out the following characteristics of the Quaternary lacustrine sediments on the Qinghai-Tibet Plateau: ① Except for the Qaidam-Qinghai lake basin area the lacustrine detrital sediments of the lake lakeshore sections of other areas are coarser, which coincides with the fact that the Qinghai-Tibet Plateau belongs to the Quaternary youngest uplift over the globe. ② Lacustrine sediments in the lake basins tend to be superimposed on or associated with alluvial proluvial colluvial and till or fluvio-glacial sediment mudflow sediments chemical sediments and hydrothermal deposits. They reflect that cold phases occurred frequently in the lake basin sedimentary environment after the Qinghai-Tibet Plateau was uplifted and entered the cryosphere in the Quaternary and also show that in the plateau uplift setting landslides and mudflows induced in the flood season dammed water flows to form lakes or that flooding resulted in bank bursting of internal lakes and disappearance of lakes on margins of the Plateau (e. g. areas III and V) and salt precipitation in the plateau lakes was closely related to deep processes and strong neotectonic movement. ③ Most Quaternary lacustrine sediments in these areas were not deposited continuously except the Qaidam-Qinghai Lake area (V) and part of large lake basins in the Qiangtang Plateau lake basin area where Quaternary continuous lacustrine sediments are found. ④ As the Qinghai-Tibet Plateau becomes arid gradually during the Holocene, quite a number of lakes have dried up except some modern catchments, so lacustrine sediments are lacking at the top. In summary, in order to acquire continuous records of the Quaternary sedimentary environment on the Qinghai-Tibet Plateau, it is necessary to select a few Cenozoic basins with continuous sediments in the interior or on margins of the Plateau. This paper demonstrates that the Qaidam basin is a fairly ideal area for the study of Late Cenozoic lacustrine sediments of the Plateau. We suggest that a Late Cenozoic resource and environment scientific drilling project be implemented in the Qaidam basin.

Key words Qinghai-Tibet Plateau; Quaternary lacustrine sediments; Quaternary stratigraphic areas; characteristics of lacustrine sediments; resource and environment scientific drilling project

笔者在中国地质调查局综合研究项目 (编号: 1212010511901, 2003 ~ 2007年) 和国家自然科学基金重点项目 (编号: 40531002, 2006 ~ 2009年) (以下简称本项目) 的资助下, 对青藏高原代表性第四纪湖泊沉积区进行了大范围调查, 北自柴达木昆特依湖和昆仑山口, 南抵仁布—林芝, 西起甜水海东至迪庆盆地, 尤对藏北安狮公路沿线南北 100 ~ 200 km 的重点湖泊沉积作了较深入调查和钻探取样研究; 重点湖泊包括: 扎布耶盐湖、当雄错、班戈湖、聂尔错、扎仓茶卡、色卡错、台错、肖茶卡、玛尔果茶卡以及苦水湖、甜水海、昆特依湖等 (图 1)。

在大量实地调查基础上, 针对高原盐湖—湖泊沉积特点, 对重点湖相沉积钻孔原状岩芯和天然剖面, 采取高密度样品, 在室内进行年代学、沉积学、矿物学、微体古生物、孢粉、地球化学等多学科技术方法综合研究, 取得大量测试数据, 取得了重要的科研成果 (Zheng et al., 2007; 郑绵平等, 2007^a, 2007^b, 2007^c; 刘俊英等, 2007^a, 2007^b, 2007^c, 2007^d; 齐文等, 2007^a, 2007^b; 赵希涛等, 2007; 庞其清等, 2007)。其中有关 128 ka 以来湖泊沉积环境响应以扎布耶盐湖为例已有较详论文报导 (Zheng et al., 2007; 郑绵平等, 2007^c; 刘俊英等, 2007^a), 故笔者仅据实测资料和综合前人有关成果, 讨论高

原第四纪湖泊地层序列及其若干沉积特点。

1 青藏高原第四纪湖相地层分区

青藏高原属于特提斯喜马拉雅新构造区南带, 按照对第四纪沉积主要控制因素—地质构造、地貌和湖相沉积特征, 笔者首次将青藏高原第四系初步划分为 6 个地层分区 (图 2)。青藏高原第四纪地层区南部以喜马拉雅极高点为界, 北以帕米尔—昆仑山—祁连山为限, 依次为: 藏南极高山和北坡湖盆分区 (I), 羌塘高原湖盆分区 (II), 三江高山河谷分区 (III), 昆仑极高山分区 (IV), 柴达木—库木库里—青海湖沉积湖盆分区 (V), 阿尔金—祁连高山分区 (VI) (图 2)。

2 青藏高原第四纪湖相层序划分

有关青藏高原第四纪湖相地层划分, 前人在西藏 (郑绵平等, 1989; 李炳元等, 1991; 《中国地层典》编委会, 2000) 以及柴达木 (刘泽纯, 1990; 沈振枢等, 1993) 都作了大量工作, 并有初步地层划分方案。笔者在前人工作基础上, 据新近青藏高原有关工作进展, 按地层分区将高原第四纪湖相地层作了进一步划分 (插表 1)。

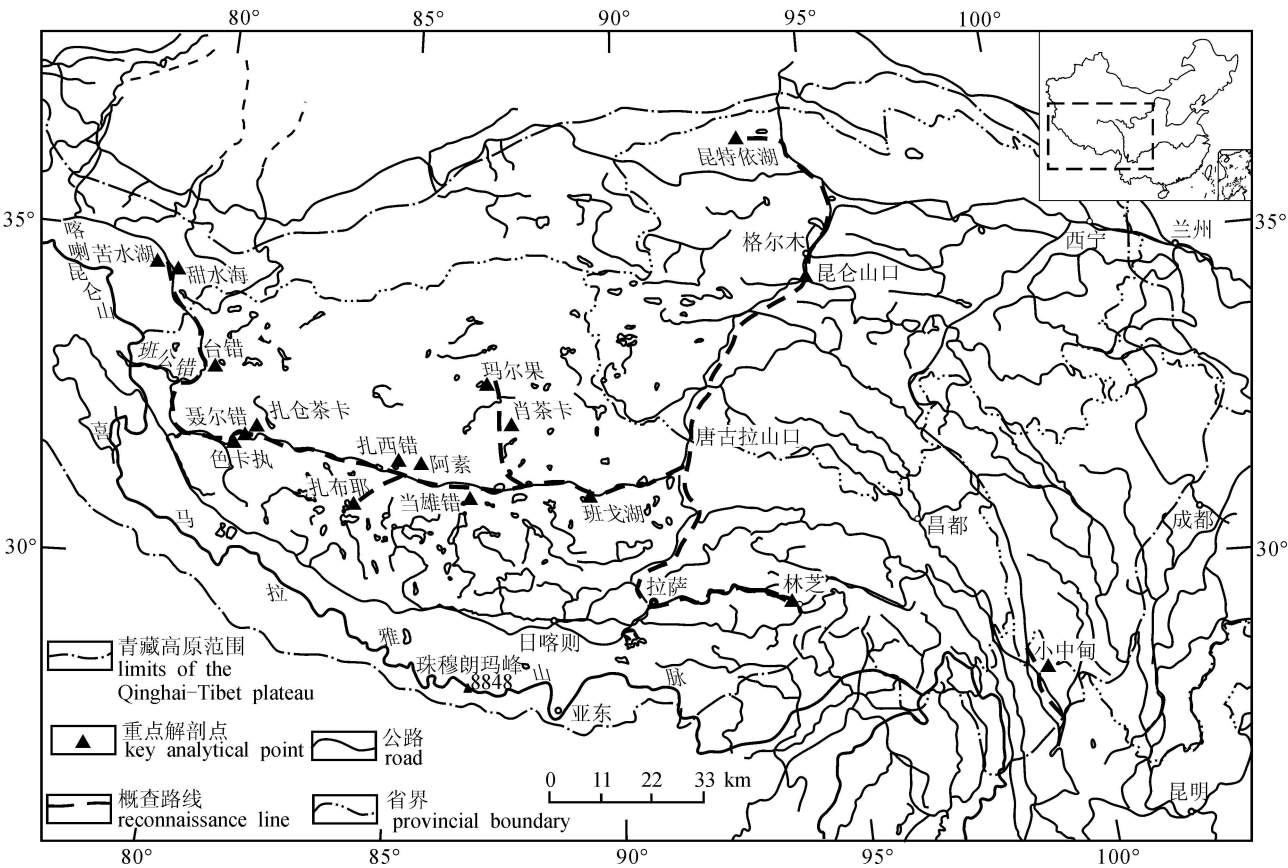


图 1 第四纪重点湖相沉积调查区

Fig 1 Key investigation areas of Quaternary lacustrine sediments

3 青藏高原第四纪地层分区层序概述

按上述第四纪地层分区, 侧重将青藏高原若干分区的第四纪湖相地层层序分述如表 1。

3.1 藏南湖盆分区 (I)

本区山地大多在 6000 m 左右, 有不少超过 7000 m; 最著名的珠穆朗玛峰达到 8844.43 m (2006 年 10 月 9 日中国公布国家测绘局测量数据)。本区北界岗底斯—念青唐古拉山脉, 南界大致至国界线稍南之山麓带, 西接帕米尔高原, 东临横断山。区内可划分为极高山、高山和北坡河谷湖盆两个部分, 前者山顶现代冰川发育。后者谷地有古冰碛、河湖相和冰缘相关沉积发育。前人对本区冰川沉积作了较详研究 (施雅风等, 1998), 尤以珠穆朗玛峰、卓奥友峰和希夏帮马峰北坡第四纪沉积及其冰期划分较详 (施雅风等, 2000, 2006)。

本分区的第四纪湖相和河湖相已作初步研究, 有早、中更新世定日、邛多江、亚汝雄拉古湖盆贡巴组湖滨相—三角洲相和加布拉组、扎达香孜组河湖相沉积 (施雅风等, 2006, 朱大岗等, 2007); 晚更新

世—全新世 (主要为晚更新世晚期) 现代湖周沉积阶地和湖底沉积以及雅江流域林芝、仁布、日喀则堆塞湖沉积等 (陈万勇, 1980; 黄翡, 2000; 冯金良等, 2004; 尹光候等, 2005; 朱宗敏等, 2007)。

3.2 羌塘高原湖盆分区 (II)

本区西北部为极高山大起伏山地, 其余多为近 EW 走向的中、小起伏山地高海拔丘陵和宽谷湖盆相间, 高原面保存完好, 并曾为第四纪多期古泛湖发育区, 区内湖积平原宽广, 残留湖泊星罗棋布, 气候干冷、冻土广布。按照本分区地貌和湖盆发育特点, 由南向北大致划分为 3 个亚区: 羌南湖盆亚区 (II₁); 羌北湖盆亚区 (II₂) 和喀喇昆仑高山湖盆亚区 (II₃) (图 2)。亚区北界大致以喀喇昆仑山、塔查普山、马尔岗木山至唐古拉山为界与 II₂ 亚区相接; 南则以岗底斯山 (I 区) 为限, 东部同三江高山河谷分区 (III) 相接。据笔者等多年调查研究, II₁ 和 II₂ 亚区湖盆地发育特点有较大差别, 前者古今湖盆规模均较大, 古湖盆地貌广泛发育, 现代湖泊间有水道相连或以湖相沉积相接; 为羌塘高原现代湖内规模最为发育的、湖面海拔最低的亚区, 也是第四纪古湖

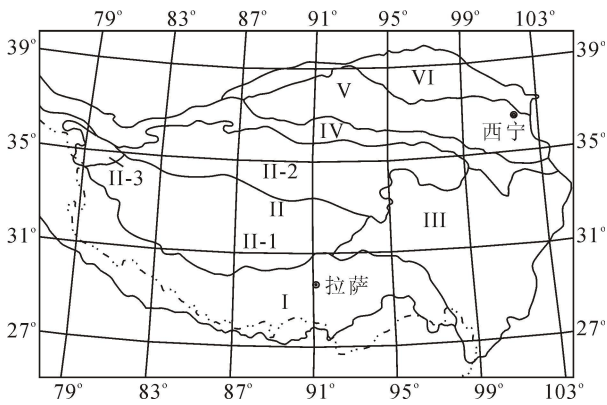


图 2 青藏高原第四纪地层分区略图

Fig 2 Quaternary stratigraphic divisions of the Qinghai-Tibet Plateau

I 藏南湖盆分区; II 羌塘高原湖盆分区; II-1 羌南湖盆亚区; II-2 羌北湖盆亚区; II-3 喀喇昆仑高山湖盆亚区; III 三江高山河谷分区; IV 昆仑高山分区; V 柴达木、青海湖盆分区; VI 阿尔金—祁连山高山分区
I -southern Tibet lake basin area II -Qiangtang Plateau lake basin area II -1 -southern Qiangtang lake basin sub-area II -2 -northern Qiangtang lake basin sub-area II -3 -karakorum high mountain area III -Sanjiang high mountain river valley area IV -Kunlun high mountain area V -Qaidam-Qinghai Lake basin area VI -Altun Tagh-Qilian high mountain area

表 2 错鄂磁性地层年龄 (据吕厚远等, 2001)

Table 2 Magnetostigraphic ages of Congon (from Lü et al., 2001)

深度 /m	地层磁性	年龄 /Ma
38.5	B/M界线	0.78
85.0~98.0	Jalkm ₁₀	0.99~1.07
120.0~141.0	Odiv ₁₀	1.77~1.98
175.0	M/G界线	2.58
197.0		2.80 (推测)

盆范围最大亚区。本亚区湖相沉积已作了较多调研工作, 有 17 个湖相沉积区作了较详第四纪地质剖面研究, 但钻探工作多限于上更新统上部湖相沉积, 只有扎布耶盐湖中钻取一口 83.63 m 岩芯, 错鄂错湖滨钻取一口 197 m 岩芯, 后者据古地磁研究已钻穿第四纪底界 (表 2), 但在 35.8~15.0 m 井段沉积物变粗, 大致缺失 0.80~0.35 Ma 沉积 (陈诗越等, 2006)。

西藏高原现代湖泊面积较大湖泊多分布在 II₁ 亚区, 包括最大湖泊纳木错 (1962 km²)、第二大湖泊色林错 (1628 km²)。是羌塘高原湖盆分区 (II) 3 个亚区中相对沉降区, 湖面海拔较低, 自 4080 m (常木错, 卡易错) 至 4865 m (雅根错), 一般 4395~

4800 m。湖水深度也较大, 属于咸水湖的纳木错和色林错水深分别大于 55 m 和 40 m, 属于淡水湖的塔若错 (矿化度 770 mg/l) 水深达 100 余米 (1982 年笔者调查; 郑绵平等, 1989), 属于盐水湖的当雄错 (矿化度 180 g/l), 水深达 18 m (2003 年 3 月实测)。该亚区湖滨 T₁ 阶地较为年青, 一般抬离现代湖面 2.5~3.0 ka BP 如班戈湖、扎布耶盐湖 (郑绵平等, 1989)。II₂ 亚区湖盆规模较小, 是相对 II₁ 亚区的抬升亚区, 其湖滨 T₁ 阶地顶面约在 10 (肖茶卡; 笔者等 2001 年实测数据) ~8 ka BP (羊湖) (刘爱民等, 2003)。现代湖泊之间较少连通, 间见孤立山间盆地。现代湖面海拔较高, 在 4800~5500 m, II₃ 亚区以喀喇昆仑山脉为界, 与 II₁、II₂ 分隔, 该亚区分布范围较小, 其北为 NW 走向的西昆仑山所限。本亚区也是相对 II₁ 亚区抬升区, 现代湖面海拔约 4900~5080 m, T₁ 阶地约在 3.5 (甜水海) ~15.8 ka BP (邦达错) (中科院青藏综合考察队, 1999)。

3.3 三江高山河谷分区

本区横断极大的高山区和三江上游中、大起伏高山河谷区。以一系列 SN 向转 ES 向高山和深切河谷形成高山、峡谷、宽谷盆地相间, 宽谷盆地常为第四纪古湖发育区。除了小型冰溶湖外, 未见规模较大现代湖泊。本分区海拔一般 7000~2000 m, 起伏悬殊, 在其西南与藏南湖盆分区 (I) 相接, 西部与羌塘高原湖盆分区 (II) 相邻, 北以昆仑高山湖盆分区东南端为界。

该分区边缘鹤庆盆地和川西昔格达盆地前人已作过较详工作 (钱方等, 1984; 蒋雪中等, 2002; 赵志中等, 2005; 肖云霞等, 2007; 姚海涛等, 2007), 2005~2006 年, 项目组同志对云南迪庆小中甸古湖第四纪湖相沉积进行调研 (赵希涛等, 2007)。

中甸与小中甸盆地是分布于青藏高原东南缘众多的晚新生代盆地中的两个 SN 向的长条形断陷盆地。盆地中有多条 EW 向的小长丘横贯其间, 从而将盆地分为北、南两大部分, 即中甸盆地与小中甸盆地, 后者又可进一步分为若干小盆地。两盆地均充填着厚层的湖相与河相沉积。小中甸河自北而南穿过小中甸沉积盆地。在中甸尼西含褐煤的上新世湖相沉积之上的早更新世河流相砂砾石夹粘土的沉积中发现了 *Minomys hengduanensis*, *Canis* sp., *Hyaena licent*, *Meailurus* sp., *Equus yunnanensis*, *Cervus* sp., *Gazella* sp., *Bibos* sp. 等哺乳动物化石 (宗冠福, 1987)。程捷 (1994) 将小中甸盆地中的湖相沉积分为 3 层: ①下部灰黄绿、灰色的粘土层夹

细砾石层; ②中部灰黄色、灰色、褐色粘土层、砂层和砂质粘土层; ③上部砾石层, 认为从岩性来看完全可以与尼西盆地的下更新统对比。

金沙江河谷和小中甸盆地中, 还发现了多处典型的湖相沉积物露头 (赵希涛等, 2007 b)。研究表明, 金沙江至少在早更新世早期已经贯通 (赵希涛等, 2006)。其后, 在金沙江中上游的河谷中曾因冰川、冰水、崩塌、滑坡或泥石流流的堰塞而形成了若干古湖, 如中、晚更新世的石鼓古湖和奔子栏古湖等 (赵希涛等, 2007 b; 张永双等, 2007)。

大、小中甸盆地的第四纪湖相沉积共发现 3 套 (赵希涛等, 2007 a)。第一套湖相沉积分布于大中甸盆地东南部, 以 214 国道边的小丘土司康岗为代表, 由砖红色和肉红色的砾石层夹有土黄色的纹层状粘土所组成。据该地层中古脊椎动物化石的鉴定, 其动物群面貌相当于元谋动物群, 时代属于早更新世 (马学平等, 2004); 第二套湖相沉积主要分布于小中甸盆地东南部和中心部位。该套沉积主要由青灰色厚层状粘土、灰色与土黄、锈黄色纹层状粘土及棕黄色中细砂组成。估计该套湖相沉积的厚度可达百米左右, 其铀系法年龄为 $(147.2 \pm 13.9) \sim (67.57 \pm 5.30) \text{ ka BP}$ (赵希涛等, 2007 b); 第三套湖相沉积为以纳帕海为代表的现代湖沼相沉积。

3.4 昆仑高山分区

本分区为起伏极大的极高山区, 呈近 EW 向狭长展布, 山体北陡南缓, 起伏北大南小。高山间有宽谷湖盆发育, 山地西段海拔约 6000 ~ 7000 m; 现代冰川发育, 东段海拔 5000 ~ 6000 m; 有小规模现代冰川发育, 古冰川遗迹则分布较少。本区南与 II₂ 和 II₃ 区相邻, 北部西段与海拔 1000 ~ 1500 m 的塔里木盆地相接、中东端与海拔 2600 ~ 3000 m IV 分区的柴达木、库木库里和海拔 2000 m 左右的青海湖区相邻。

本分区东中部昆仑山垭口第四系研究较详, 该研究区为青藏公路和铁路的必经之地, 海拔 4600 ~ 5100 m; 常年冰雪覆盖, 气候严寒。该处分布有一套晚新生代沉积地层, 20 世纪 60 ~ 70 年代中国科学院、地矿部地质力学所、青海地质局, 中英青藏高原综合地质考察队等单位, 沿青藏公路多次进行过综合科学考察 (庞其清, 1982; 钱方等, 1982; 伍永秋等, 1995; 崔之久等, 1998; 1999), 为本区的地层、构造和第四纪地质等方面的研究奠定了较好基础。在前人工作基础上, 2005 年本项目组在该分区纳赤台西和野牛沟左岸的三岔河组系统采集的一批样品, 经分

析也发现有保存完好的介形虫化石。本文则主要是根据北京大学和盐湖与热水资源研究发展中心所采样品分析获得的介形虫化石及以往的相关资料, 庞其清等 (2007) 就昆仑山垭口地区晚新生代的地质层重新进行了划分对比 (表 3)。

3.5 柴达木 青海湖盆分区 (V)

三湖区具有全取心的第四纪地层钻孔, 绝大部分限于浅层, 70 ~ 80 年代初陈克造等 (1986)、杜乃秋等 (1986) 对 Ck/81 孔深达 52.3 m 岩芯进行较详研究, 其底部年龄大至 32 ka BP, 该孔石盐沉积始于 24 ka BP, 察尔汗盐湖干涸时间大约 9 ka BP; 而据黄麒 (1987) 的研究, 在该盐滩距地表 1.8 m 处石盐 ²³⁰Th 的年龄为 $(6500 \pm 220) \text{ a}$ 。沈振枢等 (1993) 对察尔汗 Zk6 孔进行了综合研究, 据 ¹⁴C 测年, 该孔含粉砂石盐始于 $(31219 \pm 178) \sim (31431 \pm 178) \text{ a BP}$, 第二层石盐即始于 $(24832 \pm 946) \text{ a BP}$ 。王靖泰等 (1985) 对达 1 孔 (528 m) 首次给出了较好古地磁数据, 并附有 ¹⁴C 和铀系法数据, 其深 528 m 底界年龄为 500 ka BP。张彭熹等 (1993) 通过 Zk88-01 孔 (46 ~ 90 m) 和 Zk89-04 孔 (45.12 m) 石盐包体研究, 提出察尔汗成盐期为距今 50 ka 左右, 其间成盐演化经历 3 个不同阶段: ① 50 ~ 30 ka BP 为高温 (年均气温比现今高约 2℃) 稳定析盐期; ② 30 ~ 15 ka BP 为低温 (平均约比现今低 4℃) 波动干化期; ③ 15 ka BP 至今为冰后干化期, 此期气温回升。黄麒等 (1987) 还采用 ¹⁴C 铀系法和古地磁法测定了察尔汗 Ck6 孔 (孔深达 910 m) 年龄, 求得该区 0 ~ 910 m 沉积速率 1.14 mm/a。据该孔有机碳变化讨论 730 ka 以来察尔汗古气候变化, 认为至少在布容极性时 (730 ka) 以来, 全球性气候事件在高原有明显反应 (黄麒等, 1987)。江德昕等 (2001) 通过达 1 井孢粉研究, 将 $5 \times 10^6 \text{ a}$ 以来孢粉划分 Q₄、Q₃ 和 Q₂ 3 个孢粉带, 研究表明: 500 ~ 130 ka BP 气候可能为暖湿带末潮湿型; 130 ~ 10 ka BP 为温带半干燥型; 10 ~ 0 ka BP 为寒温带干燥型。

青海石油部门为开展第四纪生物气勘查, 在察尔汗 (即三湖地区) 施钻 159 孔, 并作了大量第四纪地层研究, 并着重以生物学 (介形类) 方法, 进行了地层划分研究, 其第四系底界有 3 种划分方案: ① $3.00 \times 10^6 \text{ a BP}$; ② 取 M/G 界线即 $2.28 \times 10^6 \text{ a BP}$ (校正年龄应为 $2.60 \times 10^6 \text{ a BP}$ 刘嘉麒, 2000); ③ 划于泥河湾动物群 (缺失), 相当于奥尔威事件, 即 $1.80 \times 10^6 \text{ a BP}$ 。按照第 ② 种划分方案, 盐湖第四纪沉积厚度在 2300 ~ 2800 m。

表 3 青藏高原昆仑山垭口地区第四系划分沿革简表

Table 3 Historical review of the stratigraphic division of the Quaternary in the Kunlun Pass area, Qinghai-Tibet Plateau

			吴锡浩等 1982	中国地层 第四系 周慕林等 1988	崔之久等 1998	中国地层典 第四系 2000	本 文 2007	
全新统			冰后期	现代沉积 小冰期沉积 温暖期沉积	现代冰碛层 小冰碛层 古土壤层	热水组	热水组	
						小冰碛层		
更新统	上	本头山冰碛层		本头山冰碛层	小南川组			小南川组
		(芦苇化石层) 三岔河组		三岔河组		本头山冰碛层		
		西大滩冰碛层		西大滩冰碛层		三岔河组	西大滩冰碛层	
	中	间冰期沉积层 (水电站底砾层)		冲积砂砾石层	纳赤台沟组			纳赤台沟组
		纳赤台冰碛层		纳赤台冰碛层		纳赤台冰碛层		
		间冰期沉积层 (雪水河高阶地)		冲洪积沙砾石层		望昆冰碛层	望昆冰碛层	
	下	望昆冰碛层		望昆冰碛层	平台组	羌塘组		
		羌塘组	六 段	羌塘组	六 段			
			五 段		五 段			
			四 段		四 段			
			三 段		三 段			
			二 段		二 段			
		一 段	一 段					
	惊仙冰期		冰水沉积层	惊仙冰碛层	惊仙谷组	惊仙冰碛层		
冰碛层		惊仙组(惊仙冰碛层)						
上新统	昆仑砾石层		昆仑砾石层	昆仑砾石层下部			昆仑砾石层	

据察尔汗盐湖区钻探资料, 将湖区地层层序综合如表 4。由表 4 可见, 察尔汗成盐肇始时间仍存在距今约 30 ka 左右(沈振枢, 1993)或距今 24 ka(陈克造等, 1986)的争议, 盐滩结束成盐时间也存在不同数据: 约距今 9~6 ka BP。该时察尔汗盐湖绝大部分已干涸, 以后又在其边缘河口附近发育新的盐湖(陈克造等, 1987)。

据表 4 还表明: 在青藏高原第四纪几个主要新构造事件, 包括青藏运动 B 幕(2.6~2.3 Ma)和昆黄 A 幕(1.38~1.10 Ma)等, 在柴达木湖盆周边虽然有所反映, 但在湖盆中反映较微弱。如昆黄运动 A 幕柴达木盆地相对强烈抬升, 柴达木众多湖盆周边多形成低山丘陵, 其早更新世早期地层普遍发生褶皱(沈振枢等, 1993), 但在察尔汗湖沉积相当层位(介形类组合 K₃-K₂)则形变微弱, 只是岩性略为变粗(粉砂增多、呈棕灰色)。

4 青藏高原第四纪湖相沉积若干特点

- (1)岩性特点: 除了柴达木—青海湖盆分区外, 其余各分区的湖滨剖面湖相碎屑相对较粗, 这种特点同青藏高原属于全球第四纪最新隆起区相一致。
- (2)成因特点: 在湖盆区的湖相常叠加或伴生冲洪积相、风积相和冰碛/冰水沉积和部分泥石流、化学沉积及热水沉积; 在河谷区和藏南湖盆分区的湖积相则常有冲积相、泥石流相或冰碛叠加, 既反映青藏高原在第四纪隆升进入冰冻圈后, 湖盆沉积环境时有冷期发生, 又反映高原隆起背景下, 洪水期诱发山崩和泥石流而堵塞成湖或洪水导致内流湖湖水冲破溢口事件发生。除了 V 分区中的柴达木盆地从第四纪以来有盐类化学沉积以至风积外, 第四纪晚期羌塘高原湖盆分区(II)、昆仑高山分区(IV)以及藏南湖盆分区(I)也时有风积以至化学沉积等干

表 4 察尔汗盐湖区晚新生代地层简表
Table 4 Late Cenozoic stratigraphy of the Qarhan salt lake area

¹⁴ C和古地磁 年龄 Cal a BP	时 代		地 层 特 征
11~12	全新世 (达布逊组)		主要为浅褐黄色含粉砂石盐或灰白色石盐, 部分地段夹 2~3 层含石膏、半水石膏粉砂层, 或是岩层中具浸染状、薄层光卤石, 本组中上部(相当于距今 6000 a)多已缺失(陈克造, 1986 黄麒, 1987), 仅在新生的盐湖水继续有石盐沉积, 厚度 2~13 m
128	更 新 世	晚更新世 (察尔汗组) (沈振枢等, 1993)	顶部亦以含粉砂石盐或石盐为主, 部分地段夹数层至十余层含膏粘土粉砂层(厚数十厘米至 2 m余)该顶部厚约 15~61 m, 出现最深的含石盐粉砂层的 ¹⁴ C 年龄为 (31431±1782) a(水 6 孔 52 22 m 井段)(沈振枢等, 1993)或 (24000±420) a BP(CK2022 62 m 井段)(陈克造, 1986)。顶部以下即以湖相灰黄色、灰绿色含粉砂粘土、粘土粉砂为主, 间夹粉砂、粘土和腐植层。含介形虫、孢粉、植物和软体化石。介形类以各种湖花介为主, 含少量瘤正星介、史氏达尔文介、湖陆花介、喜盐美星介及个别肥胖真星介等; 孢粉组合下部为栎栎蒿藜和藜—蒿组合, 上部为栎松藜蒿和蒿藜组合, 与下部整合接触。厚度 172~210 m
780		中更新世 (阿尔斯勒组) (沈振枢等, 1993)	以粉砂粘土及含粉砂粘土, 含粘土粉砂—粘土粉砂、粘土粉砂—粉砂粘土或粘土粉砂—粉砂层不等厚互层构成, 每个互层段厚度 33~74 m 不等。沉积物颜色由上中部灰绿、青灰色为主, 至下部以灰、绿灰色为主。中上部产瘤湖花介、疑湖花介、光滑湖花介, 伴生布氏土星介、隆起土星介等, 下部介形类较少; 孢粉组合由下而上栎蒿藜麻黄与藜蒿组合或栎松藜蒿与藜蒿组合或松云杉蒿藜与藜蒿麻黄组合等交替, 反映疏树草原或森林草原与荒漠草原的古环境交替频繁。属布容正向极性。厚度 689(水 6 孔)~760 m(金达 1 孔)(青海石油局内部报告, 2002)
2600		早更新世 (阿拉尔组) (沈振枢等, 1993)	下部灰、绿灰色泥岩、砂质泥岩为主, 多层黑色碳质泥岩, 相当介形类组合 K ₁₀ —K ₆ (刘泽纯等, 2000); 中部下段为浅灰色、少量棕灰色泥岩为主, 夹较多砂质泥岩及粉砂岩(为含生物气储层)和少量碳质泥岩, 大致相当于介形类组合 K ₅ —K ₄ (青海石油局内部报告, 2002); 中部上段为浅灰、棕灰色泥岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、钙质泥岩, 本段上部见炭质泥岩。本段的粉砂质层为重要生物气储层, 大致相当介形类组合 K ₃ —K ₂ 组合; 上部以灰色砂质泥岩为主, 夹较多黑色碳质泥岩、浅灰色泥岩和很少的泥质粉砂岩, 成为气层的局部盖层。相当于介形类组合 K ₁ 。厚度约 1400~1500 m(金达 1 井和达参一井)(刘泽纯等, 2000 青海石油局内部报告, 2002)。

旱气候产物, 并常见反映深部作用与强烈的新构造活动的水热沉积。唯有三江高山河谷分区有潮湿气候产物泥炭沼泽相形成。

(3)就湖相沉积层序发育特点和上下接触关系而言, 除了柴达木—青海湖分区(V)、以及羌塘高原分区(II)部分大湖盆可能自第四纪以来都有连续湖相沉积外, 其他多数分区湖相沉积都不连续。有下列几种情况: ①从新近纪湖相沉积延续至第四纪晚期。如 V 分区的柴达木盆地三湖地区和芒崖区盐湖盆、共和盆地及班戈—色林湖盆也可能属此类型; ②从早更新阶早中期开始发育成湖, 同高原新构造事件相一致。如 IV 分区昆仑山口羌塘组在 2.04~1.601 Ma 发育细粒湖相沉积, 在青藏运动 C 幕(1.94~1.66 Ma)之后中断, 后为 0.6~0.4 Ma 泥石流扇沉积所覆盖; ③ I 分区热久藏布—聂聂雄拉地区, 则在 0.5~0.3 Ma 大间冰期时, 有湖相沉积发育, 而覆于贡巴冰碛层之上, 尔后又为冰碛物所覆盖, 此种湖相形成可能主要由于气候变暖而滞水成湖。

(4)第四纪湖相沉积层在地表赋存情况: 除了现代积水湖盆外, 有不少地区常缺失顶部地层。其原因不一, 有的由于第四纪晚期气候变干, 湖盆干涸而缺失沉积。如察尔汗约在 6 ka BP(或有认为 10 ka BP)干涸; 有的是由于构造运动和暖湿气候叠加, 导致高原边缘湖泊泛湖外泄而中断。如昆仑古湖, 由于印—亚板块碰撞的北向远程效应和 40~30 ka BP 间冰阶暖湿气候, 遂使该湖在 30 ka BP 后湖水北泄柴达木。另外一种情况是由于后期湖盆抬升而中断等。这里既有构造也有气候变化因素, 有的不完全或主要不是构造原因而导致湖相沉积的形成或中断, 如何厘定诸种因素的作用与主次, 是今后值得深入考究的重要课题。

5 结语

综观上述和前人工作可见, 青藏高原晚新生代湖盆沉积生动地记录了全球最新隆起区的环境变化特点, 在高原内部第四纪湖相沉积多较薄, 且在地表往往出露不大, 也不完整。因此, 欲获青藏高原第四

表 5 涩中 6 井、驼中 1 井年纹层

Table 5 Annual banding of wells Sezhong 6 and Tuozhong 1

沉积相	沉积速率 /mm·a ⁻¹
半深湖相	1.28
浅湖相	1.03
三角洲相	0.90

注：表中数据据青海石油局，2002 年资料。

表 6 三湖区湖相第四纪沉积与其他地区沉积物的沉积速率

Table 6 Sedimentation rates of Quaternary lacustrine sediments in three lake areas and sediments in other areas

名称	沉积速率 /mm·ka ⁻¹
察尔汗湖区	90.0~165.0(平均 100)
罗布泊	8.3~9.5
鹤庆盆地	17.0
黄土沉积	6.6
海洋沉积	1.0~2.0

纪以至新近纪连续的盆地沉积记录，唯在青藏高原内部或周边少数新生代长期沉积的盆地，柴达木盆地即是一个比较理想的地区，特别是察尔汗湖区，据大量地震调查和油气钻探表明：

(1) 三湖区是柴达木晚新生代 (N_2 - Q) 厚度最大的连续沉积中心 (4000~5400 m)，该沉积大部分为细粒、富含微古生物和纹层发育的连续沉积，顶部含膏盐，拥有更高精度的干湿、冷暖和地质构造事件等环境信息记录。与高原周缘陆相粗粒 (如西瓦里克和玉门砾岩) 沉积相比，不但包含有机物和微古生物以及地球化学环境信息更为丰富，而且年纹层发育 (表 5)，而可提供检验测年的有利材料。若与高原边缘其他湖泊和黄土、海洋等晚新生代沉积相比，察尔汗 N_2 - Q 厚度较大，而可能有更详尽的环境变化记录 (表 6)。

(2) 察尔汗是研究青藏高原环境变化的关键区之一，柴达木盆地、尤其是青藏高原内部最大的晚新生代沉降盆地的察尔汗湖区是柴达木盆地上新世以来沉积厚度和面积最大的沉积中心，而保存着青藏高原隆升过程的较为详尽记录。

(3) 柴达木察尔汗湖区地处西风带和西南季风、东亚季风的交替区，在该湖区沉积中还记录东亚季风演化的精细信息。

此外，察尔汗湖区第四纪沉积富含生物气和钾盐矿产，是世界最大的第四系生物气田和我国最大钾盐湖矿床。因此，柴达木是一个研究第四纪以至第三纪湖相沉积的理想地区，笔者建议应不失时机地施行该区晚新生代资源环境钻探工程。

青藏高原晚新生代湖相分布广泛，且蕴藏着丰富的环境信息和矿产资源，对其第四纪地层层序与环境研究工作程度还很低，本文只是构建一个高原第四纪地层分区和湖相对比的框架。目前高原还缺乏一条完整的第四纪地层剖面，第四纪湖相沉积成因机制、不同湖盆分区湖相沉积古气候、新构造的控制作用及其主导因素等，均是值得今后进一步深入调查研究。

致谢 在本项目不同阶段参加野外调查还有李道明、王成敏、赵希涛、张建业、王岳杰等同志；室内协助工作有：费正璧、王梅、张建敏、刘俊英、刘玉霞等同志，在此一并致谢！

参考文献

陈克造, 鲍勒. 1987^a 柴达木盆地晚更新世盐湖演化 [J]. 见: 中国—澳大利亚第四纪学术讨论会论文集 [Q]. 北京: 科学出版社, 83~91.

陈克造, 袁宝印, 安芷生. 1987^b 中国和澳大利亚干旱—半干旱区五万年以来的古环境 [J]. 见: 中国—澳大利亚第四纪学术讨论会论文集 [Q]. 北京: 科学出版社, 76~82.

陈克造. 1986 察尔汗盐湖沉积的基本特征及其古气候演化 [J]. 见: 中国科学院盐湖研究所编: 青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化 [M]. 北京: 科学出版社, 34~49.

陈诗越, 王苏民, 沈吉. 2003 青藏高原中部错鄂湖晚新生代以来的沉积环境演变及其构造隆升意义 [J]. 湖泊科学, 15(1): 21~27.

陈诗越, 王苏民, 吴艳宏. 2006 西藏错鄂湖沉积旋回与古环境变迁 [J]. 地球学报, 27(4): 315~322.

陈万勇. 1980 西藏林芝盆地新生代晚期的自然环境 [J]. 古脊椎动物学报, 18(1): 52~58.

陈智梁. 2007 黄河源区哈江盐池的成因与意义 [J]. 第四纪研究, 27(4): 607~612.

崔之久, 伍永秋, 葛道凯, 刘耕年. 1999 昆仑山垭口地区第四纪环境演变 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 19(1): 53~62.

崔之久, 伍永秋, 刘耕年. 1998 青藏公路昆仑山垭口天然剖面记录 [J]. 见: 施雅风等主编. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化 [M]. 广州: 广东科技出版社, 83~144.

杜乃秋, 孔昭宸. 1986 达布逊湖 CK1/81 钻孔孢粉组合及其在地理学和植物学上的意义 [J]. 见: 中国科学院盐湖研究所编: 青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化 [M]. 北京: 科学出版社, 59~70.

冯金良, 朱立平, 李玉香. 2004 藏南沉错湖泊三角洲的沉积相及沉积环境 [J]. 地理研究, 23(5): 649~656.

顾兆炎, 刘嘉麟, 袁宝印, 刘东生, 张光宇. 1994 湖相自生沉积作用与环境——兼论西藏色林错沉积物记录 [J]. 第四纪研究, (2): 162~174.

黄翡. 2000 西藏佩枯错 13000~5000 a BP 植被与环境 [J]. 古生物学报, 39(3): 441~448.

黄麒, 蔡碧琴. 1987 察尔汗盐湖沉积物年代学的初步研究 [J]. 见: 中国—澳大利亚第四纪学术讨论会论文集 [Q]. 北京: 科学出版社, 106~114.

黄勇, 牟世勇, 贺永忠, 朱勋, 陈仁. 2004 藏北羊湖地区孢粉组合及其 1.3 万年以来的古气候变化 [J]. 沉积与特提斯地质, 24

- (2): 45~50.
- 江德昕, 杨惠秋. 2001. 青海达布逊湖 50 万年以来气候变化的孢粉学证据[J]. 沉积学报, 19(1): 101~105.
- 蒋雪中, 羊向东, 王苏民. 2002. 云南鹤庆盆地的孢粉记录及 1.0 Ma 以来的构造抬升与气候变迁[J]. 海洋地质与第四纪地质, 22(2): 99~104.
- 焦克勤, 姚檀栋, 李世杰. 2000. 西昆仑山 32 ka 来的冰川与环境演变[J]. 冰川冻土, 22(3): 250~256.
- 景民昌, 孙镇城, 杨革联, 李东明, 孙乃达. 2001. 柴达木盆地达布逊湖地区 3 万年来气候演化的微古生物记录[J]. 海洋地质与第四纪地质, 21(2): 55~58.
- 康安, 朱筱敏, 韩德馨, 王延斌, 康强. 2003. 柴达木盆地第四纪孢粉组合及古气候波动[J]. 地质通报, 22(1): 12~15.
- 李炳元, 张青松, 王富葆. 1991. 喀喇昆仑山—西昆仑山地区湖泊演化[J]. 第四纪研究, (1): 64~71.
- 李世杰, 区荣康, 朱照宇, 李炳元. 1998. 24 万年来西昆仑山甜水海湖岩芯碳酸盐含量变化与气候环境演化[J]. 湖泊科学, 10(2): 58~65.
- 李世杰, 郑本兴. 1991. 西昆仑山南坡湖相沉积和湖相演化的初步研究[J]. 地理研究, 11(4): 306~314.
- 李拴科. 1991. 库木库里盆地晚更新世末期以来湖泊发育与环境演变[J]. 见: 中国西部第四纪冰川与环境[M]. 北京: 科学出版社, 226~236.
- 刘爱民, 喻建新, 贺永忠, 卢定彪, 牟世勇, 岳龙, 杨家禄. 2003. 藏北申扎羊湖河谷 140 ka BP 以来古环境的初步研究[J]. 第四纪研究, 23(1): 83~91.
- 刘俊英, 王海雷. 2007^a. 滇西北金沙江小中甸盆地晚更新世的介形类及其古环境[J]. 地质学报, 81(12): 1652~1657.
- 刘俊英, 袁鹤然, 郑绵平, 刘喜方. 2007^b. 西藏西部聂耳错古湖近 20000~2000 年的微体古生物与环境及气候变化[J]. 古地理学报, 9(6): 575~587.
- 刘俊英, 郑绵平, 齐文. 2002. 西藏扎布耶盐湖 40 ka BP 以来的微体古生物与气候环境演变[J]. 中国地质学会八十周年纪念文集[C]. 北京: 地质出版社, 560~567.
- 刘俊英, 郑绵平, 王海雷. 2007^c. 西藏中部扎西错布晚更新世晚期微体古生物与环境变化[J]. 地质学报, 81(12): 1636~1644.
- 刘俊英, 郑绵平, 袁鹤然, 刘喜方, 王海雷. 2007^d. 西藏扎布耶湖区 1.28~1.4 ka BP 的微体古生物与环境气候变化[J]. 地质学报, 81(12): 1618~1635.
- 刘嘉麒, 刘强. 2000. 中国第四纪地层[J]. 第四纪研究, 20(2): 129~141.
- 刘喜方, 刘俊英, 郑绵平. 2007. 西藏仲巴县旧儿古湖距今 40000~10000 a BP 的介形类及其反映的环境和气候变化[J]. 地质通报, 26(1): 88~93.
- 刘兴起, 王苏民, 沈吉. 2003. 青海湖 QH—2000 钻孔沉积物粒度组成的古气候古环境意义[J]. 湖泊科学, 15(2): 112~117.
- 刘泽纯, 孙世英, 杨藩, 周嘉虹. 1990. 柴达木盆地三湖地区第四纪地层学和其年代学分析[J]. 中国科学(D 辑), 20(11): 1202~1211.
- 吕厚远, 王苏民, 吴乃琴, 童国榜, 羊向东, 沈才明, 李世杰, 朱立平, 旺罗. 2001. 青藏高原鄂诺湖 2.8 Ma 来的孢粉记录[J]. 中国科学(D 辑), 31(增刊): 234~240.
- 马学平, 李刚, 高峰. 2004. 云南中甸新发现的早更新世哺乳动物[J]. 古脊椎动物学报, 42(3): 246~258.
- 牟世勇, 贺永忠, 朱勋, 易成兴, 徐安全, 赵伟立. 2007. 西藏改则西北部喀湖错把拉湖区 13 ka BP 以来的湖泊沉积与环境演化[J]. 地质通报, 26(1): 94~99.
- 庞其清. 1982. 青藏高原昆仑山口第四纪羌塘组介形虫化石地地质意义[J]. 青藏高原地质文集[C]. 北京: 地质出版社, 151~165.
- 庞其清, 刘俊英, 郑绵平, 赵希涛. 2007. 青藏高原昆仑山垭口地区第四纪介形虫及环境变迁的探讨[J]. 地质学报, 81(12): 1672~1691.
- 庞其清, 郑绵平, 刘文高. 1985. 西藏奇林湖—班戈湖地区晚新生代介形虫化石及其地层意义[J]. 青藏高原地质文集(第 16 集)[C]. 北京: 地质出版社, 243~261.
- 庞其清. 1982. 青藏高原唐古拉山晚新生代介形虫化石及其地质意义[J]. 青藏高原地质文集(第 4 集)[C]. 北京: 地质出版社, 166~175.
- 齐文, 郑绵平. 2007^a. 西藏盐湖卤水蒸发速率的实验与计算[J]. 地质学报, 81(12): 1727~1733.
- 齐文, 郑绵平. 2007^b. 西藏扎布耶盐湖卤水演化的 Pitzer 模型模拟[J]. 地质学报, 81(12): 1734~1741.
- 钱方, 马醒华, 吴锡浩, 浦庆余. 1982. 羌塘组和曲果组磁性地层的研究[J]. 青藏高原地质文集[C]. 北京: 地质出版社, 121~130.
- 钱方, 徐树金, 陈富斌, 赵永涛. 1984. 昔格达组磁性地层的研究[J]. 山地学报, 2(4): 275~282.
- 沈振枢, 程果, 乐昌硕, 刘淑琴. 1993. 柴达木盆地第四纪含盐地层划分及沉积环境[M]. 北京: 地质出版社, 1~162.
- 施炜, 马寅生, 吴满路, 张云峰, 杜德平. 2006. 青藏高原东缘共和盆地第四纪磁性地层学研究[J]. 地质力学学报, 12(3): 317~323.
- 施雅风(主编). 2000. 中国冰川与环境—现在、过去与未来[M]. 北京: 科学出版社.
- 施雅风, 崔之久, 苏珍(主编). 2006. 中国第四纪冰川与环境变化[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社.
- 施雅风, 李吉均, 李炳元(主编). 1998. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化[M]. 广州: 广东科技出版社, 128~130.
- 孙湘君, 杜乃秋, 陈同硕, 顾兆炎, 刘嘉麒, 袁宝印. 1993. 西藏色林错湖相沉积的花粉分析. 植物学报, 35(12): 943~950.
- 王靖泰, Debyshe F, Shaw J. 1985. 柴达木盆地第四纪研究的进展. 科学通报, 12: 936~940.
- 王苏民, 薛滨. 1999. 青藏高原东部若尔盖盆地过去 140 ka 的古环境重建[J]. 第四纪地质(第 30 届国际地质大会论文集, 第 21 卷)[C]. 北京: 地质出版社, 97~103.
- 吴锡浩, 钱方, 浦庆余. 1982. 动昆昆仑第四纪冰川地质. 青藏高原地质文集(4) [C]. 北京: 地质出版社, 1~18.
- 伍永秋, 崔之久, 刘耕年. 1995. 昆仑山中、晚更新世三岔河组沉积相与环境[J]. 见: 青藏项目专家委员会编, 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊(1994). 北京: 科学出版社, 136~145.
- 肖霞云, 沈吉, 肖海丰, 王苏民, 童国榜. 2007. 云南鹤庆盆地 2.780~1.802 Ma B P 期间的古植被和古气候[J]. 第四纪研究, 27(3): 417~426.
- 姚海涛, 赵志中, 乔彦松, 李朝柱, 王书兵, 王燕, 陈永生, 蒋复初. 2007. 四川冕宁昔格达组磁性地层学初步研究及意义[J]. 第四纪研究, 27(1): 74~84.
- 姚檀栋, Thompson L G, 施雅风, 秦大河, 焦克勤, 杨志红, 田立德, MOSLEY—THOMPSON E. 1997. 古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究[J]. 中国科学(D 辑), 27(5): 447~452.
- 姚檀栋. 1999. 末次冰期青藏高原的气候突变—古里雅冰芯与格陵兰 GRIP 冰芯对比研究[J]. 中国科学(D 辑), 29(2): 175~184.
- 尹光侯, 张留青, 包钢, 包俊跃, 段国玺, 苏学军. 2005. 西藏林芝

地区第四系新知[J]. 地层学杂志, 29(增刊): 626~630.

曾庆利, 杨志袁, 袁广祥, 尚彦军, 张路青, 赵希涛. 2007. 松宗古湖——藏东南帕隆藏布江末次盛冰期发育的一个冰川堰塞湖[J]. 第四纪研究, 27(1): 85~92.

张虎才, 雷国良, 常凤琴, 樊红芳, 杨明生, 张文翔. 2007. 柴达木盆地察尔汗贝壳堤剖面年代学研究[J]. 第四纪研究, 27(4): 511~521.

张彭熹, 张保珍, 洛温斯坦 T K, 斯潘塞 R J. 1993. 古代异常钾盐蒸发岩的成因[M]. 北京: 科学出版社, 84~93.

张永双, 赵希涛, 胡道功. 2007. 滇西北德钦地区金沙江奔子栏古堰塞湖的发现及意义[J]. 地质通报, 26(8): 970~975.

赵希涛, 张永双, 胡道功. 2006. 云南丽江地区大具盆地早更新世金沙江砾石层的发现及意义[J]. 地质通报, 25(12): 1381~1386.

张彭熹, 张保珍. 1991. 柴达木地区近三百万年来古气候环境演化的初步研究[J]. 地理学报, 46(3): 328~335.

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

张森琦, 李永国, 尚小刚, 辛元红, 王占昌, 石维栋, 庄永成, 周金元. 2006. 黄河源区新构造运动对生态环境恶化的影响[J]. 地质通报, 25(1~2): 213~220.

赵希涛, 曲永新, 张永双, 胡道功, 郭长宝. 2007a. 滇西北丽江地区石鼓古湖的发现及其在金沙江河谷发育中的意义[J]. 地质通报, 26(8): 960~969.

赵希涛, 郑绵平, 李道明. 2007b. 云南迪庆小中甸古湖的形成演化及其与石鼓古湖和金沙江河谷发育的关系[J]. 地质学报, 81(12): 1645~1651.

赵志中, 乔彦松, 王书兵, 王燕, 徐刚, 李朝柱, 傅建利, 姚海涛, 陈永生, 宋立峰, 王敏, 李名则, 蒋复初. 2005. 青藏高原东缘第四纪地质与环境调查的新进展[J]. 青藏高原地质过程与环境灾害效应文集[C], 41~47.

郑绵平. 2007a. 盐类科学研究的扩展—盐体系研究的思考(代序)[J]. 地质学报, 81(12): 1603~1607.

郑绵平, 邓月金, 乜贞, 卜令忠, 史世云. 2007b. 西藏扎布耶盐湖秋季卤水 25℃等温蒸发研究[J]. 地质学报, 81(12): 1742~1749.

郑绵平, 向军, 魏新俊, 郑元. 1989. 青藏高原盐湖[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 112~125.

郑绵平, 袁鹤然, 刘俊英, 李延河, 马志邦, 孙青. 2007c. 青藏高原扎布耶盐湖 128 ka以来沉积特征与古环境记录[J]. 地质学报, 81(12): 1608~1617.

中国地质典编委会. 2000. 中国地质典[M]. 北京: 地质出版社, 14.

中国科学院地理研究所主编. 1990. 青藏高原地图集[M]. 北京: 科学出版社, 56. 154~156.

中国科学院青藏高原综合考察队. 1999. 喀喇昆仑山—昆仑山地区晚新生代环境变化[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 59~74.

中国科学院青藏高原综合科学考察队. 1983. 西藏第四纪地质[M]. 北京: 科学出版社, 50. 167~171.

周慕林. 1988. 中国的第四纪. 中国地层[M]. 北京: 地质出版社, 48~62.

宗冠福. 1987. 云南省迪庆州更新世早期哺乳类化石的发现[J]. 古脊椎动物学报, 25(1): 29~76.

朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 杨朝斌, 王津, 韩建恩, 余佳, 孟庆伟, 吕荣平. 2007. 西藏阿里札达盆地全新世—早更新世河湖相地层年代学研究[J]. 中国地质, 34(6): 283~992.

朱立平, 王君波, 陈玲, 杨京蓉, 李炳元, 朱照宇, Hiroki Kikagawa G, Jean Possner. 2004. 藏南沉错湖泊沉积多指标揭示的 2 万年以来环境变化[J]. 地理学报, 59(4): 514~524.

朱宗敏, 寸金鸿, 庞龙飞, 向树元, 陈奋宁, 江尚松. 2007. 西藏米林地区湖积物的磁性特征及其古气候意义[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 32(5): 622~628.

References

- CHEN Kezao, BOWLER J M. 1987a. Evolution of salt lakes in late Pleistocene in Qaidam basin, Qinghai Province, China[J]. In: Proceedings of the Sino-Australian Symposium of the Quaternary[C]. Beijing: Science Press, 83~91 (in Chinese).
- CHEN Kezao, YUAN Baoyin, AN Zhisheng. 1987b. Palaeoenvironment of arid and semi-arid regions in China and Australia since 50,000 years[J]. In: Proceedings of the Sino-Australian Symposium of the Quaternary[C]. Beijing: Science Press, 76~82 (in Chinese).
- CHEN Kezao. 1986. Basic features and paleoclimatic evolution of sediments in Qarhan Salt Lake. In: Institute of Saline Lakes[J]. Chinese Academy of Sciences (ed.), Late Cenozoic Geo-environmental Evolution in the Qaidam Basin, Qinghai[M]. Beijing: Science Press, 34~49 (in Chinese).
- CHEN Shiyue, WANG Sumin, SHEN Ji. 2003. Variations of Sedimentary Environments during Late Cenozoic of CONGOIN Central Tibet an Plateau and Its Tectonic Uplift Implications[J]. Journal of Lake Sciences, 15(1): 21~27 (in Chinese with English abstract).
- CHEN Shiyue, WANG Sumin, WU Yanhong. 2006. Sedimentary Cycles and Palaeoenvironmental Evolution of the CONGOIN Lake in Tibetan Plateau since Late Cenozoic[J]. Acta Geoscientia Sinica, 27(4): 315~322 (in Chinese with English abstract).
- CHEN Wanyong. 1980. Late Cenozoic natural environment in the Nyingchi basin, Tibet[J]. Cenebra Palaeatica, 18(1): 52~58 (in Chinese with English abstract).
- CHEN Zhiliang. 2007. Origin of the Haijiang saline pool in the source area of the Yellow River and its significance[J]. Quaternary Sciences, 27(4): 607~612 (in Chinese with English abstract).
- Comprehensive Scientific Team of Qinghai Tibet Plateau. Chinese Academy of Sciences. 1983. Quaternary Geology of Tibet[M]. Beijing: Science Press, 50. 167~171 (in Chinese).
- CUI Zhijiu, WU Yongqiu, GE Daokai, LIU Gengnian. 1999. Environmental change of Kunlun pass area since Quaternary[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 19(1): 53~62 (in Chinese with English abstract).
- CUI Zhijiu, WU Yongqiu, LIU Gengnian. 1998. Records of natural exposures on the Kunlun Shan Pass of Qinghai-Xizang highway[J]. Shi Yafeng (Editor in Chief), Uplift and environmental changes of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau in the Late Cenozoic[M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 83~144 (in Chinese).
- DU Naiqiu, KONG Zhaochen. 1986. Sporopollen assemblages of CK1/81 hole samples in Dabson Lake and their geographical and botanical significance[J]. In: Institute of Saline Lakes, Chinese Academy of Sciences (ed.), Late Cenozoic Geo-environmental Evolution in the Qaidam Basin, Qinghai[M]. Beijing: Science Press, 59~70 (in Chinese).
- Editorial Committee of Stratigraphical Lexicon of China. 2000. Stratigraphical Lexicon of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 14 (in Chinese).
- FENG Jinliang, ZHU Liping, LI Yuxiang. 2004. Sedimentary environments and facies about Chen Co lacustrine delta, South Tibetan

- Plateau J. Geographical Research, 23(5): 649 ~ 656 (in Chinese with English abstract).
- GASSE F, ARNOLD M, RONTES J C, FORT M, GIBERT E, HUC A, LIBINGYUAN, LI Yuanfang, LU Qingsong, MLRES F, VAN Campo E, WANG Fuhao, ZHANG Qingsong. 1991. A 13 000-year climate record from western Tibet J. Nature, (353): 742 ~ 745.
- GU Zhaoyan, LIU Jiaqi, YUAN Baoyin, LIU Tunqsheng. 1994. Lacustrine authigenic deposition expressive of environment and the sediment record from Siling Co, Xizang (Tibet), China J. Quaternary Sciences, (2): 162 ~ 174 (in Chinese with English abstract).
- HUANG Fei. 2000. Vegetation and climate between 13 ka to 5 ka B.P. in Peiku Co, Tibet J. Acta Palaeontologica Sinica, 39(3): 441 ~ 448 (in Chinese with English abstract).
- HUANG Qi, CAI Bihui. 1987. Geochronological study on the sediments in Qarhan lake J. In: Proceedings of the Sino-Australian Symposium of the Quaternary, Beijing: Science Press, 106 ~ 114 (in Chinese).
- HUANG Yong, MOU Shiyong, HE Yongzhong, ZHU Xun, CHEN Ren. 2004. The paleoclimatic changes since 13 ka as revealed by sporopollen assemblages in the Yangshu region, northern Xizang J. Sedimentary Geology and Tertiary Geology, 24(2): 45 ~ 50 (in Chinese with English abstract).
- Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences (ed.). 1990. Atlas of the Qinghai-Tibet Plateau M. 56, 154 ~ 156 (in Chinese).
- JIANG Dexin, YANG Huohui. 2001. Palynological Evidence for Climatic Changes in Dabuxun Lake of Qinghai Province during the Past 500 000 Years J. Acta Sedimentologica Sinica, 19(1): 101 ~ 105 (in Chinese with English abstract).
- JIANG Xuezhong, YANG Xiangdong, WANG Sumin. 2002. Pollen records and environmental evolution of Heqing basin in Yunnan Province since 10 Ma J. Marine Geology & Quaternary Geology, 22(2): 99 ~ 104 (in Chinese with English abstract).
- JIAO Keqin, YAO Tandong, LI Shijie. 2000. Evolution of Glaciers and Environment in the West Kunlun Mountains During the Past 32 ka J. Journal of Glaciology and Geocryology, 22(3): 250 ~ 256 (in Chinese with English abstract).
- JING Minchang, SUN Zhencheng, YANG Gelian, LI Dongming, SUN Naida. 2001. Climatic evolution recorded by ostracoda in Dabuxun lake in Qaidam basin during the Past 30 Ka years J. Marine Geology & Quaternary Geology, 21(2): 55 ~ 58 (in Chinese with English abstract).
- KANG An, ZHU Xiamin, HAN Dexin, WANG Yanbin, KANG Qiang. 2003. Quaternary sporopollen assemblages and paleoclimatic fluctuation in the Qaidam basin J. Regional Geology of China, 22(1): 12 ~ 15 (in Chinese with English abstract).
- LIBINGYUAN, ZHANG Qingsong, WANG Fuhao. 1991. Evolution of the lakes in the Karakorum West Kunlun Mountains J. Quaternary Sciences, (1): 64 ~ 71 (in Chinese with English abstract).
- LI Shijie, ZHENG Benxing. 1991. Lacustrine deposits and sedimentary environment during the late Pleistocene on the southern slope of the West Kunlun Mountains J. Geographical Research, 11(4): 306 ~ 314 (in Chinese with English abstract).
- LI Shijie, OU Rongkang, ZHU Zhaoyu, LI Bingyuan. 1998. A Carbonate Content Record of Late Quaternary Climate and Environment Changes from Lacustrine Core TS95 in Tianshuihai Lake Basin, Northwestern Qinghai Xizang (Tibet) Plateau J. Journal of Lake Science, 10(2): 58 ~ 65 (in Chinese with English abstract).
- LI Shuangke. 1991. Lake development and environment evolution in the Kumkol basin since the terminal late Pleistocene J. In: Quaternary Glaciers and environments in western China M. Beijing: Science Press, 226 ~ 236 (in Chinese).
- LIUA Min, YU Jianxin, HE Yongzhong, LU Dingbiao, MU Shiyong, YUE Long, YANG Jialu. 2003. Environmental changes in the Yang Lake area of Shengzha County, North Tibet since 140 ka B.P. J. Quaternary Sciences, 23(1): 83 ~ 91 (in Chinese with English abstract).
- LIU Junying, YUAN Heran, ZHENG Mianping, LIU Xifang. 2007b. Micropaleontology, environmental and climatic changes of the Nêr Co paleolake in western Tibet between 20000 ~ 2000 a B.P. J. Journal of Paleogeography, 9(6): 575 ~ 587 (in Chinese with English abstract).
- LIU Junying, ZHENG Mianping, QI Wen. 2002. Micropaleontology and climatic and environmental changes in the Zabuye salt lake, Xizang (Tibet), in the past ca. 40 ka J. 80th Anniversary of the Geological Society of China Academic Papers M. Beijing: Geological Publishing House, 560 ~ 567 (in Chinese).
- LIU Junying, WANG Hailei. 2007a. Late Pleistocene Ostracods in the Xiaozhongdian Basin, Jinsha River Valley, Northwestern Yunnan, and Their Paleoenvironmental Significance J. Acta Geologica Sinica, 81(12): 1652 ~ 1657 (in Chinese with English abstract).
- LIU Junying, ZHENG Mianping, WANG Hailei. 2007c. The Late Part of the Late Pleistocene Microfossil and Environment Change in Zaxi Lake, Middle Tibet J. Acta Geologica Sinica, 81(12): 1636 ~ 1644 (in Chinese with English abstract).
- LIU Junying, ZHENG Mianping, YUAN Heran, LIU Xifang, WANG Hailei. 2007d. Microfossils and Climatic and Environmental Changes in the Zabuye Lake Area, Tibet, from 128 to 1.4 ka BP J. Acta Geologica Sinica, 81(12): 1618 ~ 1635 (in Chinese with English abstract).
- LIU Junying, ZHENG Mianping, YUAN Heran, LIU Xifang, WANG Hailei. 2007. Micropaleontology, environmental and climatic changes of the Nêr Co paleolake in western Tibet between 20000 ~ 2000 a B.P. J. Journal of Paleogeography, 9(6): 575 ~ 587 (in Chinese with English abstract).
- LIU Xifang, LU Junying, ZHENG Mianping. 2007. Ostracods in the Jiuer Paleolake, Zhongba, Tibet, China, and its environmental and climatic changes at 40 000 ~ 10 000 a B.P. J. Geological Bulletin of China, 26(1): 88 ~ 93 (in Chinese with English abstract).
- LIU Xifang, LU Junying, ZHENG Mianping. 2007. Ostracods in the Jiuer Paleolake, Zhongba, Tibet, China, and its environmental and climatic changes at 40 000 ~ 10 000 a B.P. J. Geological Bulletin of China, 26(1): 88 ~ 93 (in Chinese with English abstract).
- LIU Xingli, WANG Sumin & SHEN Ji. 2003. The Grain size of the Core QH-2000 in Qinghai Lake and Its Implication for Paleoclimate and Paleoenvironment J. Journal of Lake Science, 15(2): 112 ~ 117 (in Chinese with English abstract).
- LIU Zechun, SUN Shiyong, YANG Fan, ZHOU Fenghong. 1990. Quaternary stratigraphy and chronology in the Sanhu area, Qaidam basin J. Science in China (Ser. A), 20(11): 1202 ~ 1211 (in Chinese with English abstract).
- LIU Jiaqi, LIU Qiang. 2000. Quaternary Stratigraphy in China J.

- Quaternary Sciences 20(2): 129 ~ 141 (in Chinese with English abstract).
- LÜ Houyuan, WANG Sumin, WU Naiqin, TONG Guobang, YANG Xiangdong, SHEN Cairong, LI Shijie, ZHU Liping, WANG Luo. 2001. Sporopollen records of CONGO in Qinghai-Tibet Plateau since 2.8 Ma. J. Science in China Series D: Earth Sciences 31(Sup): 234 ~ 240 (in Chinese with English abstract).
- MA Xueping, LI Gang, GAO Feng. 2004. New Early Pleistocene mammalian materials from Zhongdian, Yunnan, China. J. Vertebata Palasiatica 42(3): 246 ~ 258 (in Chinese with English abstract).
- MOU Shiyong, HE Yongzhong, ZHU Xuping, YI Chengxing, XU Anquan, ZHAO Weili. 2007. Lake deposits and environmental evolution of the Bala lake area, Kachuo, northwestern Q. Tibet, China since 13 ka BP. J. Geological Bulletin of China 26(1): 94 ~ 99 (in Chinese with English abstract).
- PANG Qifeng. 1982a. Geological significance of ostracod fossils in the Quaternary Qiangtang Formation at the Kunlun Pass, Qinghai-Tibet Plateau. In: Contributions to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House: 151 ~ 165 (in Chinese).
- PANG Qifeng. 1982b. Late Cenozoic ostracods at the Tanggula Pass, Qinghai-Tibet Plateau and their geological significance. In: Contributions to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House: 166 ~ 175 (in Chinese).
- PANG Qifeng, ZHENG Mianping, LIU Wengao. 1985. Late Cenozoic ostracods in the Qilin Co-Bangkok Co area, Tibet, and their stratigraphic significance. In: Contributions to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. Beijing: Geological Publishing House: 16 ~ 243 ~ 261 (in Chinese).
- PANG Qifeng, LU Junying, ZHENG Mianping, ZHAO Xiaohu. 2007. Quaternary Ostracoda in the Pass Area of the Kunlun Mountains, Northern Qinghai-Tibet Plateau, with a Discussion on the Environmental Change. J. Acta Geologica Sinica 81(12): 1672 ~ 1691 (in Chinese with English abstract).
- QI Wen, ZHENG Mianping. 2007a. Rates of Evaporation from Saline Lakes on the Tibetan Plateau—An Approach to Measurements and Calculations. J. Acta Geologica Sinica 81(12): 1727 ~ 1733 (in Chinese with English abstract).
- QI Wen, ZHENG Mianping. 2007b. Simulation with Pitzer model of lake brine evolution of Zabuye salt lake, Tibetan Plateau. J. Acta Geologica Sinica 81(12): 1734 ~ 1741 (in Chinese with English abstract).
- QIAN Fang, MA Xinghua, WU Xiaohu, BU Qingyu. 1982. Magnetostratigraphy of the Qiangtang and Qugu formations: Contributions to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House: 121 ~ 130 (in Chinese).
- QIAN Fang, XU Shujin, CHEN Fubin, ZHAO Yongqiao. 1984. Study on the paleomagnetism of the Xigeda formation. J. Journal of Mountain Research 2(4): 275 ~ 282 (in Chinese with English abstract).
- SHEN Zhenshu, CHENG Guo, LE Changshuo, LIU Shuqin. 1993. The division and sedimentary environment of Quaternary salt bearing strata in Qaidam basin [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1 ~ 162 (in Chinese).
- SHI Wei, MA Yingsheng, Wu Manli, ZHANG Yunfeng, DU Deping. 2006. Quaternary magnetostratigraphy of the Gonghe basin on the northeastern of the Qinghai-Tibet Plateau. J. Journal of Geomechanics 12(3): 317 ~ 323 (in Chinese with English abstract).
- SHI Yafeng (Editor in Chief). 2000. Glaciers and their environments in China—the present, past and future [M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- SHI Yafeng, CUI Zhijiu, SU Zhen (Editor in Chief). 2006. The Quaternary glaciations and environmental variations in China [M]. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Publishing House (in Chinese).
- SHI Yafeng, LI Jijun, LIBingyuan (Editor in Chief). 1998. Uplift and environmental changes of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau in the Late Cenozoic [M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press: 128 ~ 130 (in Chinese).
- SUN Xiangjun, DU Naifu, CHEN Yishuo, GU Zhaoyan, LIU Jieqi, YUAN Baoyin. 1993. Holocene palynological records in lake Selincuo, northern Xizang. J. Acta Botanica Sinica 35(12): 943 ~ 950 (in Chinese with English abstract).
- The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau, Chinese Academy of Sciences. 1999. Environmental changes of Karakorum-Kunlun Mountains in Late Cenozoic Era [M]. Beijing: China Environmental Science Press: 59 ~ 74 (in Chinese).
- WANG Jingtao, DERBYSHIRE F, SHAW J. 1985. Advances in the Quaternary study of the Qaidam basin. J. Chinese Science Bulletin 12: 936 ~ 940 (in Chinese with English abstract).
- WANG Sumin, XUE Bin. 1999. Paleoenvironmental reconstruction of the Zonghe basin, eastern Qinghai-Tibet Plateau during the past 140 ka. J. In: Proceeding of the 30th International Geological Congress, Vol. 21, Quaternary Geology. Beijing: Geological Publishing House: 97 ~ 103 (in Chinese).
- WU Xiaohu, QIAN Fang, BU Qingyu. 1982. Quaternary glacial geology of East Kunlun Mts [M]. In: Contribution to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau (4). Beijing: Geological Publishing House: 1 ~ 18 (in Chinese).
- WU Yongqiu, CUI Zhijiu, LIU Genjian. 1995. Sedimentary facies and environment of Shanache formation, eastern Kunlun ranges. J. In: Expert Committee of the Qinghai-Tibet Project (ed), Annual Journal of Academic Papers about Research on the Formation and Evolution, Environmental Change and Ecosystems of the Qinghai-Tibet Plateau. 1994. Beijing: Science Press: 136 ~ 145 (in Chinese).
- XIAO Xiyun, SHEN Ji, XIAO Haifeng, WANG Sumin, TONG Guobang. 2007. Paleovegetation and paleoclimate of the Heqing basin during 2.780 ~ 1.802 Ma B. P. in Yunnan province, China [J]. Quaternary Sciences 27(3): 417 ~ 426 (in Chinese with English abstract).
- YAO Haitao, ZHAO Zhizhong, QIAO Yansong, LI Chaozhu, WANG Shubin, WANG Yan, CHEN Yongsheng, JIANG Fuchun. 2007. Magnetostratigraphic dating of the Xigeda formation in Mianjiang, Sichuan and its significance. J. Quaternary Sciences 27(1): 74 ~ 84 (in Chinese with English abstract).
- YAO Tandong. 1999. Abrupt climatic change of the Qinghai-Tibet Plateau in the last glacial period—A comparative study of the Guliya ice core and Greenland GRIP ice core. J. Science in China (Series D), 29(2): 175 ~ 184 (in Chinese with English abstract).
- YAO Tandong, L. G. Thompson, SHI Yafeng, QINDahe, JIAO Keqin, YANG Zhihong, TIAN Lide, Mosley-Thompson F. 1997. Re-

- cords of the climatic change in the Guliya ice core since the last interglacial period. *J. Science in China (Series D)*, 27(5): 447 ~ 452 (in Chinese with English abstract).
- YN Guanghui, ZHANG Linqing, BAO Gang, BAO Junyue, Duan Guoxi, SU Xuejun. 2005. New knowledge of the Quaternary strata of the Linzhi area, Tibet. *J. Journal of Stratigraphy* 29(Sup): 626 ~ 630 (in Chinese with English abstract).
- ZENG Qingli, YANG Zhifa, YUAN Guangxiang, SHANG Yanjun, ZHANG Linqing, ZHAO Xiaojiao. 2007. Songzong lake an ice dammed lake of last glacial maximum in Purung Tsangpo river southeast Tibet. *J. Quaternary Sciences* 27(1): 85 ~ 92 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Hucai, LEI Guoliang, CHANG Fenglin, FAN Hongfang, YANG Mingsheng, ZHANG Wenxiang. 2007. Age determination of shell bar section in salt lake Qaidam, Qaidam basin. *J. Quaternary Sciences* 27(4): 511 ~ 521 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Pengxi, ZHANG Baozhen, YANG Wenbo. 1988. The evolution of the water body environment in Qingshai Lake since the postglacial age. *J. Acta Sedimentologica Sinica* 6(2): 1 ~ 14 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Pengxi, ZHANG Baozhen. 1991. Preliminary study on paleoclimate and paleoenvironment of the Qaidam region since three million years ago. *J. Acta Geographica Sinica* 46(3): 328 ~ 335 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Senqiu, LI Yongguo, SHANG Xiaogang, XIN Yuanhong, WANG Zhanchang, SHI Weidong, ZHUANG Yongcheng, ZHOU Jinyuan. 2006. Effects of neotectonic movement in the source area of the Yellow River, China on eco-environmental deterioration. *J. Geological Bulletin of China* 25(1 ~ 2): 213 ~ 220 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Pengxi, ZHANG Baozhen, LOWENSTIENT K, SPENCER R J. 1993. Origin of Ancient Abnormal Potash Evaporites. *M. Beijing Science Press* 84 ~ 93.
- ZHANG Yongshuan, ZHAO Xiaojiao, HU Daogong. 2007. An ancient landslide-dammed lake found in the Jinsha River valley near Benzilan Deqin, Yunnan, China and its significance. *J. Geological Bulletin of China* 26(8): 970 ~ 975 (in Chinese with English abstract).
- ZHAO Xiaojiao, ZHANG Yongshuan, HU Daogong. 2006. Discovery of the Early Pleistocene Gravels of the Jinsha River in the Daju Basin, Yunnan Province and its significance. *J. Geological Bulletin of China* 25(12): 1381 ~ 1386 (in Chinese with English abstract).
- ZHOU Mulin. 1988. Quaternary of China. In: *Stratigraphy of China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 48 ~ 62 (in Chinese with English abstract).
- ZONG Guangfu. 1987. Note on some mammalian fossils from the Early Pleistocene of Yunnan. *J. Vertebrata Palasiatica* 25(1): 69 ~ 76 (in Chinese with English abstract).
- ZHAO Xiaojiao, QU Yongxin, ZHANG Yongshuan, HU Daogong, GUO Changbao. 2007a. Discovery of Shilu paleolake in the Lijiang area, northwestern Yunnan, China and its significance for the development of the modern Jinsha River valley. *J. Geological Bulletin of China* 26(8): 960 ~ 969 (in Chinese with English abstract).
- ZHAO Xiaojiao, ZHENG Mianping, LI Daoming. 2007b. Formation and evolution of the ancient Lake Xiaozhongjiang in Diding, Yunnan and its relationship with development of and the ancient Lake Shiguo and the modern valley of the Jinsha River. *J. Acta Geologica Sinica* 81(12): 1645 ~ 1651 (in Chinese with English abstract).
- ZHAO Zhizhong, QIAO Yansong, WANG Shubing, WANG Yan, XU Gang, LI Chaozhu, HU Jianli, YAO Haitao, CHEN Yongsheng, SONG Lifeng, WANG Min, LI Mingze, JIANG Fuchu. 2005. New progress in the investigation of Quaternary geology and environment on the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau. *J. Contributions to the Geological Processes and Effects of Environmental Hazards* 41 ~ 47 (in Chinese).
- ZHENG Mianping. 2007a. Expansion of salt science—Thoughts on Saltine Systems Research (in Lieu of Preface) [J]. *Acta Geologica Sinica* 81(12): 1603 ~ 1607 (in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mianping, XIANG Jun, WEIXinjun, ZHENG Yuan. 1989. Saltine lakes on the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. *M. Beijing: Beijing Scientific and Technical Publishing House*, 112 ~ 125 (in Chinese).
- ZHENG Mianping, DENG Yejun, NIE Zhen, HU Lingzhong, SHI Shiyun. 2007b. 25°C Isothermal Evaporation of Autumn Brines from the Zabuye Salt Lake, Tibet, China. *J. Acta Geologica Sinica* 81(12): 1742 ~ 1749 (in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mianping, YUAN Huan, LU Junying, LI Yanhe, MA Zhibang, SUN Qingsong. 2007c. Sedimentary Characteristics and Paleoenvironmental Records of Zabuye Salt Lake, Tibetan Plateau, since 128 ka BP. *J. Acta Geologica Sinica* 81(5): 861 ~ 879 (in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mianping, YUAN Huan, LU Junying, LI Yanhe, MA Zhibang, SUN Qingsong. 2007. Sedimentary Characteristics and Paleoenvironmental Records of Zabuye Salt Lake, Tibetan Plateau, since 128 ka BP. *J. Acta Geologica Sinica* 81(12): 1608 ~ 1617 (in Chinese with English abstract).
- ZHU Daogang, MENG Xiangang, SHAO Zhaoqiang, YANG Chaoqin, WANG Jin, HAN Jianqin, YU Jia, MENG Qingwei, Lu Rongping. 2007. Chronology of Pliocene early Pleistocene lacustrine strata in the Zanda basin, Ngari area, Tibet. *J. Geology in China* 34(6): 283 ~ 292 (in Chinese with English abstract).
- ZHU Liping, WANG Junbo, CHEN Ling, YANG Jingrong, LI Bingyuan, ZHU Zhaoyu, Hiroyuki Kitagawa, Golan Possner. 2004. 20 000-Year Environmental Change Reflected by Multidisciplinary Lake Sediments in Chen Co, Southern Tibet. *J. Acta Geographica Sinica* 59(4): 514 ~ 524 (in Chinese with English abstract).
- ZHU Zongmin, CUN Jinhong, PANG Longfei, XIANG Shuyuan, CHEN Fanning, JIANG Shangsong. 2007. Magnetic Properties of Lacustrine Sediments and Implications for Paleoclimate in Milin Area, Tibet. *J. Earth Science Journal of China University of Geosciences*, 32(5): 622 ~ 628 (in Chinese with English abstract).

Table1 Summary of classifications of Quaternary lacustrine sequences of the Qinghai-Tibet Plateau

注：①输系数测年引自本项目数据（2004）。