

古昆仑湖地区 183 – 90kaBP 间的微体古生物与环境变迁^{*}

刘俊英^{1,2}, 郑绵平^{1,3}, 王海雷^{1,3}

(1: 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037)

(2: 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

(3: 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 古昆仑湖位于昆仑山垭口昆仑河谷地, 大约在 200kaBP 前已开始沉积, 沉积物为一套灰、灰绿、土黄色粉砂质、砂质粘土, 厚约 7m。在纳赤台西北剖面 5.6 – 2.4m 层段产较多微体化石, 介形类有 8 属 12 种: *Ilyocypris biplicata* (Koch), *I. bradyi* Sars, *Eucypris crassa* (Müller), *E. elliptica* (Baird), *E. rischtanica* Schneider, *Candona candida* (Müller), *Stenocypris cf. major* (Baird), *Cypridopsis obesa* Brady & Robertson, *Prionocypris ganssenensis* Huang, *Potamocypris villosa* (Jurine), *P. cf. wolfi* Brehm 和 *Limnocythere dubiosa* Daday 等。轮藻类有 *Chara aliensis* Z. Wang, *Chara ganssenensis* S. Wang 和 *Chara* sp. 根据 U 系法测年, 含化石地层的年龄大约为 168 – 90kaBP, 属于倒数第二次冰期至末次间冰期早期。按生物组合和沉积物特征分析, 古昆仑湖区在 183 – 90kaBP 的环境气候变化大致有两个大的期次、6 个小期次: (1) 183 – 130kaBP 冷湿期, 湖区环境较冷湿, 湖泊水质较淡, 水温不高。早期(约 183 – 170kaBP), 湖面较宽, 水体较深, 环境动荡, 化石贫乏; 中期(约 170 – 151.3kaBP), 湖面有一定收缩, 水质含盐度有所提升, 水温仍不高, 湖区环境湿度较大; 晚期(约 151.3 – 130kaBP), 化石贫乏, 生态环境、水质条件可能与早期类同。 (2) 130 – 90kaBP 凉湿期, 湖内生态环境较好, 生物门类中除介形类外, 出现沉水性植物轮藻类, 且介形类生物量较前期有很大增加, 属种分异度较好。早期(约 130 – 105kaBP), 偏冷湿; 中期(约 105 – 98kaBP), 凉湿, 为生物大发展大繁盛时期; 晚期(约 98 – 90kaBP), 偏凉湿, 在 98 – 93kaBP, 环境不宜生物生息, 化石贫乏; 约 93 – 90kaBP, 生态环境有所改善, 有介形类 3 属 5 种, 但生物量较小。

关键词: 古昆仑湖; 地层学特征; 微体古生物; 古气候古环境; 183 – 90kaBP

Microfossils and environmental change in Paleo-Kunlun Lake area during 183 – 90kaBP

LIU Junying^{1,2}, ZHENG Mianping^{1,3} & WANG Hailei^{1,3}

(1: Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environment, Ministry of Land and Resources, Beijing 100037, P. R. China)

(2: Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, P. R. China)

(3: Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, P. R. China)

Abstract: Paleo-Kunlun Lake is located in the Kunlun River valley at the pass of the Kunlun Mountains. Its lacustrine deposits began at -200kaBP and consisted of a sequence of gray, grayish green and earth-yellow silty and sandy clay, with a thickness about 7m. Abundant ostracods were found from the 5.6 – 2.4m interval of the Naijital section. Ostracods included eight genera and 12 species, i. e.: *Ilyocypris biplicata* (Koch), *I. bradyi* Sars, *Eucypris crassa* (Müller), *E. elliptica* (Baird), *E. rischtanica* Schneider, *Candona candida* (Müller), *Stenocypris cf. major* (Baird), *Cypridopsis obesa* Brady & Robertson, *Prionocypris ganssenensis* Huang, *Potamocypris villosa* (Jurine), *P. cf. wolfi* Brehm and *Limnocythere dubiosa* Daday; and charophytes including *Chara aliensis* Z. Wang and *Chara* sp. According to U-series dating, the age of the fossiliferous strata was estimated for ~168 – 90 kaBP, corresponding to the period of the last second glacial and last interglacial. Based on microfossils and sediments, two longer epochs and six shorter phases had been recognized for the paleolimnological and paleoclimatic changes in Paleo-Kunlun Lake at 183 – 90kaBP. (1) The cold-wet epoch (183 – 130kaBP): The climate of the lake area was relatively cold and wet, the lake water was relatively fresh and the water temperatures were not high. In the early phase (~183 – 170kaBP), the lake surface was wide, the

* 国家自然科学基金重点项目(40531002)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(K2007-3-2)和国家大地调查项目(1212010818057)联合资助。2009-11-13 收稿; 2010-04-12 收修改稿。刘俊英, 女, 1939 年生, 研究员; E-mail: LiuJunyingh@sohu.com.

water body was deep, the environment was oscillatory and fossils were scarce. In the middle phase ($\sim 170 - 151.3$ kaBP), the lake surface shrank to a certain extent, the salinity of the lake water increased somewhat, the water temperatures were not yet high and the humanity of the lake area was high. In the late phase ($\sim 151.3 - 130$ kaBP), fossils were scarce and the eco-environment and water salinity were probably similar to those of the early phase. (2) The cold-wet epoch ($\sim 130 - 90$ kaBP): The eco-environment in the lake was better, and besides ostracods, there appeared the submerged plant charophytes and the biomass of ostracods increased as compared with the previous epoch. The diversity of genera and species was relatively high. In the early phase ($\sim 130 - 105$ kaBP), it was slightly cold and wet. In the middle phase ($\sim 105 - 98$ kaBP), it was cool and wet, and this phase witnessed substantial development and thriving of organisms. In the late phase ($\sim 98 - 90$ kaBP), it was slightly cool and wet. In its early part ($\sim 98 - 93$ kaBP), the eco-environment was not suitable for the growth of organisms and fossils were scarce. The eco-environment was somewhat improved in its late part ($\sim 93 - 90$ kaBP), and five species of ostracods belonging to three genera appeared, however, their biomass was low.

Keywords: Paleo-Kunlun Lake; stratigraphic characteristics; microfossil; paleoclimate and paleoenvironment; 183 – 90kaBP

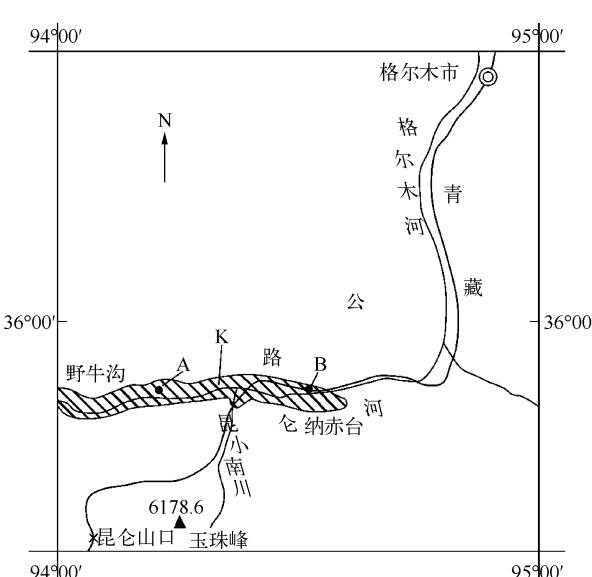


图 1 古昆仑湖研究剖面位置^[1]

(A:野牛沟北岸第五级阶地剖面;B:纳赤台西北昆仑河北岸第五级阶地剖面;K:古昆仑湖分布范围)

Fig. 1 Location and sections of Paleo-Kunlun Lake

地,再赴该区野外调查,并在野牛沟、纳赤台东和西北第五级阶地测制剖面,以10cm间距采集微体古生物等分析样337件、同时分别采U系法、ESR法地层测年样共9件,在其论文中改称为“昆仑古湖”^[1]。按命名优先法原则,本文仍称谓古昆仑湖。

三岔河组上部湖相地层之地质年代及其介形类组合特征近年来曾概略研究^[1,10]。古昆仑湖之野牛沟和纳赤台两条剖面中,以后者产化石较多,分布较普遍,地层测年数据较多,本文以其为主,从年代学和生物地层学研究确定湖泊的沉积年代,以环境气候学探讨古湖存在期间的环境变化,以及该区倒数第二次冰期至末次间冰期早中期(大致相当于海洋氧同位素MIS 6期和MIS 5期的早中期)的气候变化。

古昆仑湖含化石地层的地质时代、微体古生物及其环境变迁研究,可为青藏高原隆升与生态环境变化讨论提供重要的科学依据。

古昆仑湖(Paleo-Kunlun Lake)位于昆仑河谷地(图1),湖相沉积大约始于200kaBP前^[1]。成湖背景源于其特殊的地理位置,昆仑山脉横亘于青藏高原北部,东段主峰玉珠峰海拔6178m,即使是地势较低的昆仑山垭口地区海拔也有4600–5100m。因其地势高耸、气候寒冷干燥,机械物理风化作用强烈,碎屑物质十分丰富,由于地壳上升,河流的堆积与下切,造成该区河谷阶地达五级以上。第五级阶地吴锡浩等命名为三岔河组^[2],在野牛沟出露较好,厚约63m,主要为辫状河流沉积、风沉积和湖相沉积。该套湖相沉积即是本文的古昆仑湖地层。

昆仑山垭口地理位置十分重要,是西藏经济发展的咽喉命脉青藏公路、铁路的必经之地,亦是揭示青藏高原隆升对全球气候变化影响研究的良好场所。自20世纪60年代以来,冰川和四纪学者纷纷前去考察研究,并取得许多重要成果^[1,9]。

古昆仑湖在20世纪90年代朱允铸等已勾绘^[6],近年来赵希涛等为进一步研究河谷阶

1 地层学特征

1.1 剖面沉积特征

昆仑山垭口地区昆仑河谷第五级阶地(即三岔河组)属辫状河流和风成砂及湖相沉积,其下部为砾石层夹砂层;中部为砾石砂层;上部是砂质粉砂质粘土层或粘土质粉砂层夹泥砂层;其顶部灰、灰绿、黄、土黄色粉砂质、砂质及粘土即为本文研究的古昆仑湖的湖相地层,厚约 7m^[1].

1.2 年代地层

昆仑河及其上游野牛沟阶地的地层测年方法有热释光(TL)、电子自旋共振(ESR)和铀系不平衡法(U 系)3 种以上,大约有 17 组数据,分布于纳赤台西北剖面、纳赤台东北剖面和野牛沟剖面^[1],古昆仑湖测得的相关数据包括推算所得有 10 组以上,主要集中在纳赤台西北剖面(表 1、图 2).

表 1 古昆仑湖纳赤台西北剖面地层年龄数据^[1]
Tab. 1 Age data of Naijtal section of Paleo-Kunlun Lake

样品编号	地点与剖面	层位与采样 深度(m)	样品	实测年龄(kaBP)	推测年龄(kaBP)	
					据 U 系测 年推算	据沉积速 率推算
7-10-2-1	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 1,0.10	细砂	U 系 95.7 ± 7.6	59	70
7-10-2-2	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 1,0.20	砂中之碳酸钙	ESR 135 ± 13		
7-10-2-22	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 1,2.20	砂中之碳酸钙	ESR 179 ± 18		
7-10-2-23	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 1,2.30	粘土质粉砂	U 系 16.7 ± 1.4		
	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 2,2.40		U 系	90	81
7-10-2-33	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 3,3.30	粘土	U 系 98.0 ± 7.9		
7-10-2-43	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 3,4.30	砂质粘土	U 系 106.8 ± 8.7		
	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 4,4.8			130	131.5
7-10-2-52	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 6,5.20	粉砂	U 系 151.3 ± 12.5		
7-10-2-52	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 6,5.20	砂中之碳酸钙	ESR 196 ± 20		
	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 6,5.60			168	171
	纳赤台西北剖面	T ₅ 层 6,6.45			215	213

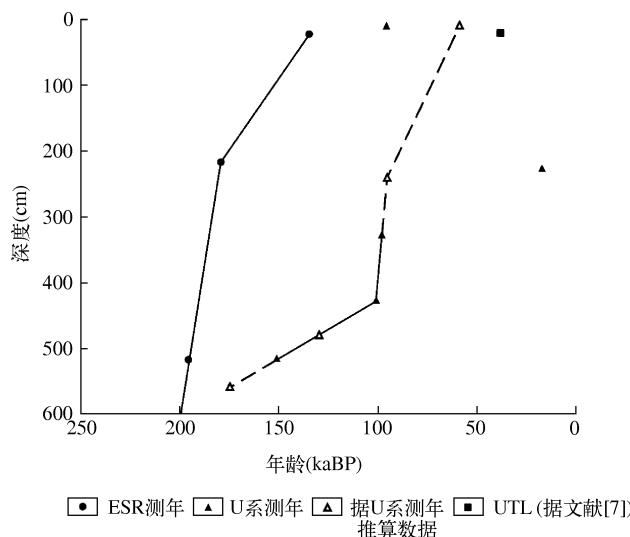


图 2 古昆仑湖纳赤台剖面地层测年曲线(据文献[7]修订)

Fig. 2 Dating curve of Naijtal section of Paleo-Kunlun Lake

ESR 法和 U 系法测年近年来运用较多,包括广西百色盆地地下第三系、青藏高原湖第四系的测年数据可信度均较高,无论单一或两种方法测定的数据并用^[11-14]。可是纳赤台西北剖面出现两种方法测年数据有一定差异: ESR 法较 U 系法的数据普遍偏大(偏老),如在相同层位相同点的平行样 7-10-2-52,以 ESR 测定数据为 196 ± 20 kaBP,而 U 系测定数据为 151.3 ± 12.5 kaBP,两种方法测量数据相差 45kaBP。又如 ESR 测样号 7-10-2-52 至 7-10-2-22,地层厚 3m,仅用时 17kaBP,以 U 系法测 7-10-2-33 至 7-10-2-2 号样,采样间距仅 3.10m,用时为 2.3kaBP,显示出剖面沉积速率过大现象;此外在 2.3m 处的 7-10-2-23 样,U 系法测定数据为 16.7 ± 1.4 kaBP,又过于年轻。误差原因,容后研究。

在纳赤台西北剖面含微体化石层段 5.6~2.4m 的 3.2m 的地层中,5.2m、4.3m 和 3.3m 处取得 U 系测年数据分别为 151.3 ± 12.5 kaBP、 106.8 ± 8.3 kaBP 和 98.0 ± 7.9 kaBP,我们将 5.2m 处的 151.3kaBP 向下推算至 5.6m,得 168kaBP 作为含化石地层的最低层位年龄,最高层位年龄由 3.3m 处的 98kaBP 上延至 2.4m,推算出约 90kaBP;地层中第 3 与第 4 层界限处 4.8m 推算约为 130kaBP。这样含化石地层包括实测和合理推测年龄数据达 6 组,结合相应地层的沉积物粗、细特征,沉积速率大小变化的合理性,且所有数据具有较好的线性关系(图 3)。此外,还将 U 系数据推算的时间与据沉积速率推算时间列于表 1、图 3,显示出两种方法推算出的时间接近,从而说明 U 系测年数据比较合理。所以本文采用 U 系法测年,推算出纳赤台西北剖面 5.6~2.4m 含微体化石地层大约为 168~90kaBP,其间 5.20~4.6m 和 3.30~2.70m 化石贫乏段可能为 151.3~130kaBP 和 98~93kaBP。将剖面 6.45m 推算的大约 215kaBP 作为古湖沉积起始时间,这样古湖形成时间大约始于 200kaBP 前。至于湖泊结束时期,则止于剖面顶部 0.1m,推算约为 60kaBP。青藏高原末次间冰期的时间,施雅风定为 130~75kaBP^[15],但是在高原腹地扎布耶盐湖区约为 128~75.5kaBP,东部边缘若尔盖盆地为 136~82kaBP,西北部甜水海盆地为 137~74kaBP,东南部鹤庆盆地为 131.3~73.3kaBP,古里雅冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素测定为 126kaBP,国际上,2008 年国际地层委员会界定为 126kaBP,我国 2009 年出版的《中国地层典总论》确定为 130kaBP 等^[15-20],本文将剖面 4.8m 处约 130kaBP 定为第四系更新统中、上部分界,岩性地层与年代地层基本吻合。古昆仑湖属于更新世中期至晚期的湖泊。随着青藏高原的隆升,湖泊发育晚期阶段,由于该区新构造运动强烈,致使古湖消亡。

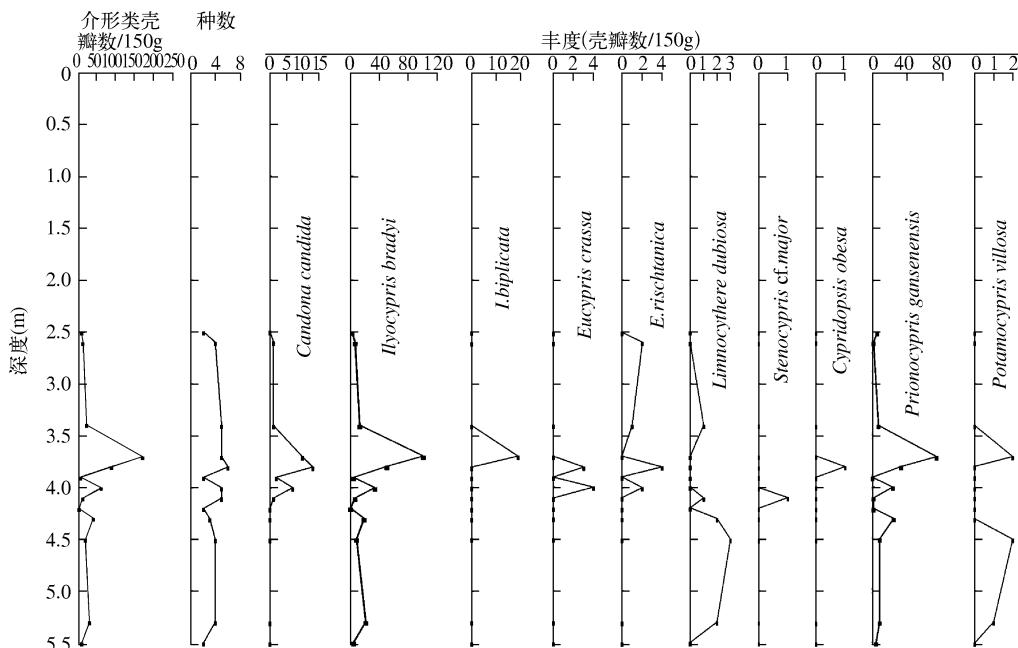


图 3 纳赤台西北昆仑河北岸古昆仑湖地层介形类丰度(壳瓣数/150g)变化

Fig. 3 Diagram showing the change in ostracod abundance (values/150g) and species number in sample along Naijtal section of Paleo-Kunlun Lake

1.3 生物地层

昆仑古湖含化石地层发现于纳赤台西北剖面 2.4–5.6m 层段和野牛沟剖面 3.6–16.8m 层段。以纳赤台西北剖面介形虫化石较丰富,分布较普遍。最高丰值段在 3.40–4.50m 层段,其次是 5.3–5.60m 和 2.5–2.70m 层段,而 2.70–3.30m 和 4.7–5.2m 化石较少,包括:*Ilyocypris bradyi* Sars, *I. bimaculata* (Koch), *Eucypris crassa* (Müller), *E. elliptica* (Baird), *E. rischtanica* Schneider, *Candona candida* (Müller), *Stenocypris cf. major* (Baird), *Cypridopsis obesa* Brady & Robertson, *Prionocypris gansensis* Huang, *Potamocypris villosa* (Jurine), *P. cf. wolfi* Brehm 和 *Limnocythere dubiosa* Daday 等 8 属 12 种以上。其中以 *Ilyocypris bradyi* 和 *Prionocypris gansensis* 含量较大,分布广泛,几乎含化石样品均有这两个种,尤其前者含量在 38%–66% 之间,后者最高达 67%,至少也有 38% 的含量;其次是 *Limnocythere dubiosa* 较常见,出现于 3.40m 以下地层,含量低,仅 4%–14%;*Candona candida* 和 *Eucypris* 的分子出现层位主要在 3.4–4.0m。相对而言 *Eucypris* 的含量不及 *Candona candida* 大,后者最高可达 33%,而前者最高仅有 8.7%,并且分布不普遍;*Potamocypris* 的分子产于 3.7–5.30m,含量亦不高,仅 1%–9% (图 3、图 4)。

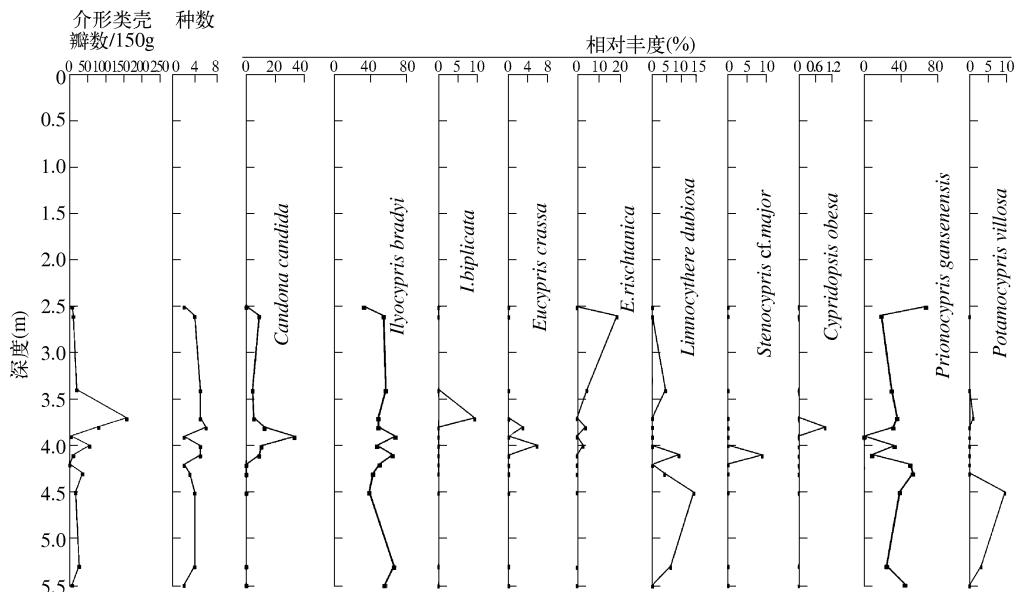


图 4 纳赤台西北昆仑河北岸古昆仑湖地层介形类丰度(壳瓣数/150g)、种数和相对丰度(%)变化

Fig. 4 Diagram showing the change in ostracod abundance (values/150g), species number and relative abundance (%) along Naijital section of Paleo-Kunlun Lake

野牛沟剖面在 3.6–6.88m 层段含介形类化石,主要是 *Eucypris rischtanica*, *Prionocypris gansensis*, *Ilyocypris bradyi* 和 *Limnocythere dubiosa* 的含量很少。

轮藻类化石出现于纳赤台西北剖面 3.4–3.8m 层段,主要是 *Chara* 属,有 *Chara aliensis* Z. Wang, *Chara gansensis* S. Wang 和 *Chara* sp. 等。

纳赤台西北剖面产介形类和轮藻类化石,且化石数量较多,分布较普遍,其生物地层特征具有区域代表性,下面将从介形类化石属种类型与其丰度值变化并结合地层沉积特征,自下而上划分如下化石富集段。

第Ⅰ富集段:为 *Ilyocypris bradyi*–*Prionocypris gansensis* 组合,分布于剖面 5.60–5.2m 中粗砂层的一细砂夹层中。该富集段内有 4 属 4 种介形虫,其中 *Ilyocypris bradyi* 含量为 63%,*Prionocypris gansensis* 含量为 29.3%,*Limnocythere dubiosa* 和 *Potamocypris villosa* 丰度低,分别为 4.9% 和 2.9%。

第Ⅱ富集段:为 *Prionocypris gansensis*–*Limnocythere dubiosa* 组合,分布于 4.7–4.20m 的灰绿、灰黄色粉砂质粘土层中。属种类型与富集段Ⅰ相同,但各自的含量却有较大变化,其中 *Ilyocypris bradyi* 含量较前段少 21.6%;*Prionocypris gansensis* 含量 48.6%;*Limnocythere dubiosa* 含量 7.1%,这两个种分别增加 19% 和

2% 以上; *Potamocyparis villosa* 含量为 3%, 含量略有增加。

第Ⅲ富集段: 为 *Ilyocypris bradyi* - *Eucypris rischtanica* 组合, 分布于 4.2 - 3.30m 层段之杂质色粘土与粉砂质粘土层中。此富集段的介形虫类型多, 数量大, 有 8 属 11 种以上, 前富集段已有的 4 属 4 种继续存在, 但是它们的含量已发生较大变化, 其中的 *Ilyocypris bradyi* 含量为 49.0%, 较前段增加近 8%; *Prionocypris gansensis* 含量 30.86%, 减少 7.7% 以上, 而 *Limnocythere dubiosa* 和 *Potamocyparis villosa* 的含量均不足 1%, 分别为 0.5% 和 0.7%。新出现成分中, *Candona candida* 含量 8%, *Ilyocypris biplicata* 为 4.5%, *Eucypris rischtanica* 为 3%, 此外是少量的 *Eucypris crassa*, *E. elliptica*, *Stenocypris cf. major* 和 *Cypridopsis obesa* 等。

在该化石富集段内尚广泛分布有轮藻类化石, 由于类型较单一, 未列组合。主要是长柱状的 *Chara alienis*, *Chara gansensis* 和藏卵器顶部破损的 *Chara* sp. 个体。

第Ⅳ富集段: 为 *Ilyocypris bradyi* - *Eucypris crassa* 组合, 分布于 2.7 - 2.4m 之姜黄-土黄色细砂层中。该富集段有介形类 3 属 5 种, 数量较多的是 *Ilyocypris bradyi* 和 *Prionocypris gansensis*, 其含量分别为 45% 和 40%, 其它 3 种: *Candona candida*, *Eucypris crassa* 和 *E. rischtanica*, 含量均为 5%。虽然本段介形虫在Ⅲ段已有产出, 但是它们的含量已有较大变化: *Ilyocypris bradyi* 和 *Candona candida* 的含量分别减少 9% 和 3% 以上, *Prionocypris gansensis* 和 *Eucypris* 两个种含量均有所提高, 前者增加 9% 以上, 后两个分子含量亦有增多。

2 介形类、轮藻类生态与环境气候分析

2.1 介形类的生态特征分析

昆仑古湖纳赤台西北剖面和野牛沟剖面产介形虫 8 属 12 种以上, 其中 *Ilyocypris bradyi*, *I. biplicata*, *Candona candida* 和 *Limnocythere dubiosa*, *Prionocypris gansensis*, *Eucypris rischtanica* 这 6 种曾在青藏高原第四系与现代湖泊沉积物中常见, 多系淡水、微咸水至半咸水水域生息种类, 而其它 6 种 *Eucypris crassa*, *E. elliptica*, *Stenocypris cf. major*, *Cypridopsis obesa* 和 *Potamocyparis villosa*, *P. cf. wolfi* 等, 以淡水型为主, 个别喜含盐度较高的水体。

Ilyocypris bradyi 和 *I. biplicata* 均属于适应性很强的喜于淡水、浅水的流动性水体栖息的无瘤型 *Ilyocypris* 分子。*I. bradyi* 在微咸水, 有时在含盐度高达 4.5‰ 的环境也能存活; 水温 12 - 17℃ 的水域甚至湖面结冰的水塘里亦能找到它, 足见其栖息水域的温度范围是相当宽。在西藏中部扎西错布更新世晚期大约 17kaBP 较暖湿的气候期的介形类组合中数量多, 丰度值达 57.3%。另 1 种 *I. biplicata* 在低温和少盐的水域, 如青海冷湖沼泽地区湖面结冰, 含盐量 1.547‰ 的水塘有出现; 在西藏腹地扎布耶盐湖区 SZK02 孔 83.63m 剖面下部反映 128 - 76.6kaBP 偏凉湿和 65.3 - 58.6kaBP 偏冷湿气候的介形类组合中含量均较大, 前段有 38% - 63%, 后段 42% 以上; 在藏南佩估错约 13 - 11kaBP 冷湿期的介形类组合中其壳体数量也较高^[21-29]。*Prionocypris gansensis* 现生代表多见于曲流河、浅水湖及沼泽地中, 属于偏爱小型水域的介形类, 亦被视为喜盐种类, 个别分子在半咸水-咸水域亦能成长, 曾产在盐含度 0.9‰ ± - 3.335‰ 的地层中^[27,30-35]。*Candona candida* 是广泛分布欧亚大陆和北美洲的冷水种^[36], 我国柴达木盆地青海湖属于底栖类介形虫, 湖区沼泽地水库亦产, 甚至可在冰冻水坑中生活, 被称之为窄温性种。青海湖距今 6000 年以来的沉积物中有一定含量^[33-34,37-41]。*Eucypris* 的 3 个种: *E. rischtanica*, *E. crassa* 和 *E. elliptica* 产于俄罗斯、北欧、英、德等国含水草沼泽、沟渠、水湾河床等淡水域, 前两者在我国青海湖区沼泽地及柴达木盆地河流及河口地区有产。*E. rischtanica* 曾发现于西藏吉隆属淡水-微咸水的中更新世至全新世地层中, 此种曾被杨恒仁定名为 *E. gyirongensis* Yang^[37,42-44]。*Cypridopsis obesa* 生活在多种多样的水域中, 尤为喜欢流动水体; 该种在我国柴达木盆地中-晚中新世下油砂组含量很丰富^[22]。*Stenocypris major* 淡水种、喜热, 适于 10 - 20℃ 的温热水体, 我国武昌东湖、无锡太湖有生长; 类似化石种曾见于青海柴达木盆地东部更新世早、中期之七个泉组中^[31,45]。*Potamocyparis villosa* 属于淡水种, 通常见于与流动或半流动水相联系的沟渠、水塘、沼泽及湖泊中, 曾被列入到岱海冷水-浅水第二亚组合中, 在冷水-浅水介形类组合中也有其名; 亦曾见于北高加索、格鲁吉亚等地海拔 1800m 的冰碛湖内; 我国柴达木盆地第三纪棕红色泥岩、灰绿、黄绿色泥岩有产出^[22-23]。*Limnocythere dubiosa* 属于底栖介形类, 喜好较稳定的静水水域, 尤其碳酸盐含量高的泥质湖泊, 湖滨泥滩是其大量繁生之地, 对环境适应性很强, 淡水至含盐度 1.496‰ - 33.71‰ 的水体均能存活^[22,27,46-48]。

2.2 轮藻类的生态

轮藻多数喜于淡水、浅水的沟渠、池塘、湖泊等静水水域生长，少数在海湾、泻湖半咸水至咸水中生存。一般植株高度介于 0.5–200cm 之间，在其生命活动过程中能从周围水环境中摄取钙质并沉淀在细胞壁内，使藻体不同程度地钙化，尤以藏卵器的包围细胞钙化作用最强，因此轮藻化石主要为藏卵器的钙化壁^[49,53]。轮藻类的藏卵器长椭球形至球形，由 5 个向左旋转的包围细胞所包裹。

本次在古昆仑湖地层中发现的轮藻类化石主要是 *Chara* 属的分子。*Chara* 的适应性很强，内陆水体随处可见，但是在碳酸盐含量高，偏碱性水体中生长特别茂盛。*Chara ganssenensis* 在柴达木盆地第四系产出^[50-51]。*Chara aliensis* 首次发现于西藏日土斯潘古尔湖南端第四系钙质层中^[52]。也许本次发现的化石形成或保存条件较差，藏卵器顶部常常破损，影响到属种鉴定，因此虽然化石分布较广泛，但多数仅能定为 *Chara* sp.。

2.3 古昆仑湖 183–90kaBP 期间的环境与气候变化

主要据微体古生物组合特征，结合 U 系测年数据、沉积物特征等，将 183–90kaBP 的古气候划分为如下两个大期次 6 个小期次，并对古环境进行探讨。

2.3.1 冷湿期，大约 183–130kaBP 此时期为古湖纳赤台剖面 5.86–4.70m 沉积时期，早期 183–170kaBP (5.86–5.6m) 为水动力作用较强烈的中、粗砂沉积外加粘土粉砂包卷层，湖泊水体较深，环境动荡，不宜小壳体介形类的生存或壳体的保存，故而化石贫乏。中期 170–151.3kaBP (5.6–5.2m)，即本文第 I 化石富集段发生时期，在 4 种介形类中，有两个喜淡水、浅水、流动水体且不畏寒冷水域生存的 *Ilyocypris bradyi* 和 *Potamocypris villosa*，其含量共达 65% 以上，说明此时湖泊所处地区的环境湿度较大，湖的四周有冰雪融水汇成径流入湖，水温不高；其余两个种是喜盐、偏爱小型水体的 *Prionocypris ganssenensis* 和 *Limnocythere dubiosa*，它们的含量约为 34%，指示湖面较早期有一定收缩下降。水质含盐度有所提升，水体不深。晚期 151.3–130kaBP (5.2–4.7m)，沉积特征同早期，显然不是生产微体生物的好场所。

183–130kaBP 正处于更新世中期至晚期的过渡时期，亦即正处于倒数第二次冰期时期，位于青藏高原昆仑山垭口地区的古昆仑湖之沉积物和湖内生物反映此时的湖区环境较冷湿。183–170kaBP 和 151.3–130kaBP 期间湖泊水体较深、水质较淡、水温不高；期间 170–151.3kaBP 时气候干燥，湖盆曾一度收缩，湖面下降，水质含盐度有所提升。

2.3.2 凉湿期 130–90kaBP 进入更新世晚期正临末次间冰期，湖区气候已开始转暖，湖内生态环境有较大改善，尤其中期生物门类增加，介形类生物量提高，属种分异度更好。

(1) 早期 130–105kaBP (4.6–4.2m)，偏冷湿期。该时期沉积物为水动力作用相对较缓慢的粉砂质粘土，化石第 II 富集段赋于其中。此时段的介形虫属种类型与富集段 I 相同，但是生物量却增加近 2 倍，化石分布更为广泛，指示湖泊生态环境较前阶段好转。诸种百分含量有较大变化。首先是喜欢流动水体的 *Ilyocypris bradyi* 的含量减少 21% 以上，反映湖泊水体的流动性不如以前，入湖径流量减少，湖盆显得风平浪静；喜盐型的 *Prionocypris ganssenensis* 和 *Limnocythere dubiosa* 含量共达 55.6%，较前段含量增加 21% 以上，说明此时期湖泊水面缩小，水体深度降低，湖区气候偏干热，水温较以前有所提升，水质含盐度相对有一定增加。考虑到喜淡水属种含量尚有 44% 以上，可能此时的湖水属于微咸水或称为少盐水。该时段湖区的潮湿度较 130kaBP 前降低，干燥度有一定增强，推测气候偏冷湿，但已较前期显得暖干。

(2) 中期 105–98kaBP (4.2–3.3m)，凉湿期。此时期为古湖生物大发展大繁盛时期，除介形类外，还生长着淡水沉水性轮藻植物 *Chara aliensis*, *Chara ganssenensis*。介形类的丰度高，较早期数量增加 6 倍以上，分异亦高，有 8 属 12 种之多，除早期已有的 4 属 4 种外，新增加了 4 属 8 种：*Candona candida*, *Eucypris rischtanica*, *E. crassa*, *E. elliptica*, *Stenocypris cf. major*, *Cypridopsis obesa*, *Limnocythere dubiosa* 和 *Ilyocypris biplicata*。新成分几乎全是淡水、浅水、流动水体常见的种。其中 *Ilyocypris biplicata* 对生境的要求同于 *I. bradyi*，属于能抵御低温且指示有水流标志的种。*Ilyocypris* 分子总含量已有 54% 以上，说明湖区气候转暖，环境潮湿，湖周冰雪融水入湖径流较大，湖盆再扩大，湖面抬升。*Ilyocypris biplicata* 和冷水种 *Candona candida*，再加上冰碛湖中能生存的 *Potamocypris villosa*，它们的总含量已超过 62%，指示此时的湖泊水温并不高，但又较早期 (130–105kaBP) 升高。与早期相比，喜盐分子 *Prionocypris ganssenensis* 和 *Limnocythere dubiosa* 的总含量仅有 31%，较前期减少 24%，说明湖水相应淡化，含盐度降低了。

本时段还出现了对环境适应性很强的轮藻类 *Chara* 属的分子: *Chara aliens*, *Chara gansenensis*. *Chara* 通常在碳酸盐含量高, 偏碱性水域非常繁茂. *Chara* 的藏卵器在本时段分布较广泛, 但是化石保存较差, 藏卵器顶部多数破损, 这进一步说明轮藻化石在形成过程或保存过程中, 水体较动荡, 区域地质构造较强烈; *Chara* 化石的存在也说明此时的湖水偏碱性, 碳酸盐含量较高.

总的看来, 该时期湖区气候在进一步转暖, 环境湿度更大, 湖内有机质丰富, 生态环境有较大改善, 适于介形类、轮藻类等微体水生生物生息繁衍. 但是此时的湖区气候环境仍然较偏凉湿, 水体中的介形类冷性属种较多.

(3) 晚期 98–90kaBP(3.3–2.4m), 偏凉湿期. 该时段的前期 98–93kaBP, 3.30–2.70m 层段化石贫乏, 可能当时古湖生境条件过差, 不利于微体水生生物生息, 或不宜化石保存. 至末期 93–90kaBP(2.7–2.4m) 大约有 3000a 时间, 湖内出现 3 属 5 种介形类, 生物量已较中期小很多. 主要是淡水型的 *Ilyocypris braidi*, *Candonia candida* 和 *Eucypris* 的 3 个种, 总含量为 60%; 喜盐种为 *Prionocypris gansenensis*, 含量为 40%. 此组合特征显示古湖水体仍具流动性, 但入湖水量已不大, 估计此时的水体并不深. 由于冷水种含量尚有 50%, 所以湖泊水温仍然较低; 喜盐种含量较中期增加 9%, 指示湖水含盐度相应增高等. 上述分析说明此时的古湖环境较中期湿度降低、气候较偏暖干, 湖面在下降.

古湖在 90kaBP 之后继续沉积粉砂, 厚达 2.3m 以上, 由于该区地壳构造运动频繁, 致使湖泊消亡.

综上所述, 古湖沉积物中保存着较多的微体化石, 以纳赤台西北昆仑河北岸剖面 5.6–2.4m, 大约 168–90kaBP 时段的化石组合与沉积物特征反映湖区环境气候变化大致有两个大的期次: 即大约 183–130kaBP 环境气候冷湿, 处于倒数第二次冰期时. 此时的湖水较深、水质较淡、水温不高, 为古湖湖面最宽时期. 大约 130–90kaBP, 处于末次间冰期时期, 环境气候凉湿. 早期气候仍较凉, 此时的湖内生态环境已显好转, 生物量增加; 中期气候凉湿, 生物门类和生物量增加, 介形类出现 8 属 12 种之多, 轮藻类有 2 种以上; 但至晚期 98kaBP 后, 湖区气候环境更替, 湖内生物生产力降低, 至 90kaBP 后, 生物几乎绝迹, 大约 60kaBP 湖泊消亡.

昆仑山口纳赤台西北剖面提供的古昆仑湖大约在 200–90kaBP 的环境气候变化信息与青藏高原东部若尔盖盆地 RM 钻孔剖面(深度 63–20m, 约 220–80kaBP)、高原西部甜水海盆地 T_s95 钻孔剖面(45–21m, 约 200–90 kaBP)以及高原腹地扎布耶盐湖区 SZK02 钻孔剖面(83.3–70m, 约 128–90kaBP)的沉积物粒度、岩矿化学分析、生物化石组合和古湖盆变迁等具有一定的可比性^[12,16-17,28].

致谢: 本文介形类化石鉴定为庞其清教授; U 系测年系中国科学院地质地球物理研究所马志邦研究员完成; ESR 测年为成都理工大学梁兴中教授测定; 图件是张岩同志制作, 在此一并致谢.

3 参考文献

- [1] 赵希涛, 郑绵平, 李道明. 青海格尔木三岔河组年龄测定与昆仑古湖发育. 第四纪研究, 2009, 29(1): 89-97.
- [2] 吴锡浩, 钱方, 浦庆余. 东昆仑山第四纪冰川地质. 青藏高原地质文集, (4), 第四纪地质. 冰川. 北京: 地质出版社, 1982: 1-18.
- [3] 吴锡浩, 钱方. 格尔木河水系河谷地貌. 青藏高原地质文集, (4), 第四纪地质. 冰川. 北京: 地质出版社, 1982: 71-86.
- [4] 庞其清. 青藏高原昆仑山口第四纪羌塘组介形虫化石的地质意义. 青藏高原地质文集, (4), 第四纪地质. 冰川. 北京: 地质出版社, 1982: 151-165.
- [5] 李世杰, 郑本兴, 焦克勤. 西昆仑山南坡湖泊沉积演化的初步研究. 地理科学, 1991, 11(4): 306-312.
- [6] 朱允铸, 钟建华, 李元生. 柴达木盆地新构造运动及盐湖发展变化. 北京: 地质出版社, 1994: 26-27.
- [7] 崔之久, 伍永秋, 刘耕年等. 青藏公路昆仑山垭口天然剖面记录. 见: 施雅风等编. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化. 广州: 广东科技出版社, 1998: 83-144.
- [8] 伍永秋, 崔之久, 刘耕年等. 昆仑山垭口地区的冰期系列. 冰川冻土, 1999, 21(1): 71-76.
- [9] 胡道功, 赵希涛, 尹功明等. 昆仑山口羌塘组湖相层 ESR 年龄测定. 第四纪研究, 2004, 24(3): 366-367.
- [10] 庞其清, 刘俊英, 郑绵平等. 青藏高原昆仑山口地区第四纪介形虫及环境变迁的探讨. 地质学报, 2007, 81(12): 1672-1691.
- [11] 魏乐军, 郑绵平, 马志邦. 西藏台错盐湖 TT-1 剖面的沉积特征和年代学研究. 地球学报, 2004, 25(4): 397-404.

- [12] Zheng Mianping, Yuan Heran, Liu Junying et al. Sedimentary characteristics and paleoenvironmental records of Zabuye Salt Lake, Tibetan Plateau, since 128 kaBP. *Acta Geologica Sinica*, 2007, **81**(5): 861–879.
- [13] 刘俊英,袁鹤然,郑绵平等.西藏西部聂尔错古湖近 20000–2000 年的微体古生物与环境及气候变化.古地理学报,2007, **9**(6):575–587.
- [14] 赵喜涛,郑绵平,李道明.云南迪庆小中甸湖的形成演化及其与石鼓古湖和金沙江河谷发育的关系.地质学报,2007, **81**(12):1563–1651.
- [15] 施雅风.中国第四纪冰期划分改进建议.中国冻土,2002, **24**(6):687–692.
- [16] 郑绵平,袁鹤然,刘俊英等.西藏高原扎布耶盐湖 128kaBP 以来沉积特征与环境记录.地质学报,2009, **81**(12): 1608–1617.
- [17] 王苏民,王云飞,吉 磊等.若尔盖盆地湖泊深钻岩芯记录.见:施雅风,李吉均,李炳元编.青藏高原晚新生代隆升与环境变化.广州:广东科技出版社,1989:159–214.
- [18] 李世杰,李炳元,朱照宇等.甜水海湖泊钻探岩芯记录.见:青藏高原晚新生代隆升与环境变化.广州:广东科技出版社,1989:217–245.
- [19] 国际地层委员会.国际地层表.地层学杂志,2008, **33**(4):6.
- [20] 程裕淇,王泽九,黄枝高.中国地层典总论.北京:地质出版社,2009;1–411.
- [21] 庞其清.青藏高原唐古拉山晚新生代介形虫化石及其地质意义.青藏高原地质文集,(4),第四纪地质.北京:地质出版社,1982:166–175.
- [22] 青海石油管理局勘探开发研究院,中国科学院南京地质古生物.柴达木盆地第三纪介形类动物群.南京:南京大学出版社,1988:1–190.
- [23] 王苏民,余源盛,吴瑞金等.岱海—湖泊环境与气候变化.合肥:中国科技大学出版社,1990:1–189.
- [24] 李元芳,张青松,李炳元.西藏班公错地区晚更新世晚期介形类及其古地理意义.微体古生物学报,1991, **8**(1): 57–64.
- [25] 彭金兰.西藏佩枯错距今 19000–4500 年间的介形类及环境变迁.微体古生物学报,1997, **14**(3):239–254.
- [26] 杨 蕡,孙镇城,张永华等.青海柴达木盆地第四纪介形类属 *Ilyocypris*—壳面瘤状装饰的分类意义.微体古生物学报,2002, **19**(1):15–32.
- [27] 杨 蕡,乔子真,张海泉等.柴达木盆地新生代介形类动物群特征及环境意义.古地理学报,2006, **8**(2):143–155.
- [28] 刘俊英,郑绵平,袁鹤然等.西藏扎布耶湖区 128–14kaBP 的微体古生物与环境气候变化.地质学报,2007, **81**(12): 1618–1635.
- [29] 刘俊英,郑绵平,王海雷.西藏中部扎西错布晚更新世晚期微体古生物与环境变化初步研究.地质学报,2007, **81**(12):1636–1644.
- [30] 黄宝仁.柴达木盆地甘森区介形类化石.古生物学报,1964, **12**(2):241–270.
- [31] 杨 蕡.从介形类化石的分布试论柴达木盆地东部地区第四系的划分与对比.见:中国微体古生物学会编.中国微体古生物学会第一次学术会议论文集.北京:科学出版社,1981:46–53.
- [32] 杨 蕡.柴达木盆地第四纪介形类与环境变迁.见:中国微体古生物学会编.中国古生物学会十三、十四届学术年会论文选集.合肥:安徽科学技术出版社,1986:279–284.
- [33] 张 玲,孙镇城.青海湖地区不同水体介形类分布特征的初步研究.微体古生物学报,2006, **23**(4):425–436.
- [34] Mischke S, Herzschuh U, Massmann G et al. An ostracod-conductivity transfer function for Tibetan lakes. *J Paleolimnol*, 2007, **38**: 509–524.
- [35] Mischke S, Sun Z, Herzschuh U et al. An ostracod-inferred large Middle pleistocene freshwater lake in the presently hyper-arid Qaidam Basin (NW China). *Quaternary International*, 2009 (doi:10.1016/j.quaint.2009.03.002)
- [36] Meisch C. Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe. Berlin: *Spektrum*, 2000:1–522.
- [37] 黄宝仁.青海湖区第四纪介形类.中国科学院南京地质古生物所丛刊,1984,(7):187–237.
- [38] 李元芳,张青松,李炳元.青藏高原西北部 17000 年以来的介形类及环境演变.地理学报,1994, **49**(1):46–53.
- [39] Zhu Liping, Chen Ling, Li Bingyuan et al. Environmental changes reflected by the lake sediments of the South Hongshan Lake, Northwest Tibet. *Science in China (Series D)*, 2002, **45**(5): 430–439.
- [40] Yilmaz F, Külköylüoglu. Tolerance optimum ranges, and ecological requirements of freshwater ostracoda (Crustacea) in Lake Algdog (Bolu, Turkey). *Original Article*, 2006, **21**: 165–173.
- [41] Mischke S, Kramer M, Zhang C et al. Reduced early Holocene moisture availability in the Bayan Har Mountains, north-

- eastern Tibetan Plateau, inferred from a multi-proxy lake record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2008, **267**: 59-76.
- [42] Wrozyne C, Frenzel P, Xie Menping et al. A Taxonomical and ecological overview of recent and Holocene ostracodes of the Nam Co region, Southern Tibet. *第四纪研究*, 2009, **29**(4):665-677.
- [43] 黄宝仁, 杨恒仁, 尤坤元. 西藏南部和西藏西南部上新世及第四纪介形类. 见:中国科学院青藏高原综合考察队编. 西藏古生物第四分册. 北京:科学出版社, 1982;326-348.
- [44] 侯佑鉴, 勾韵娴, 陈德琮. 中国介形类化石, 第一卷. 北京:科学出版社, 2002;141-142.
- [45] 禹 娜, 赵泉鸿, Schornikov EL 等. 太湖现生介形虫、微体古生物学报, 2005, **22**(2):143-151.
- [46] 李友桂, 郑绵平. 西藏阿地区全新世早期介形虫及其古环境. 见:李廷栋编. 青藏高原地质文集(3). 北京:地质出版社, 1983:267-269.
- [47] 李元芳, 李炳元, 王 国等. 西昆仑甜水海古湖泊介形类及其环境意义. *湖泊科学*, 1997, **9**(3):223-230.
- [48] Hui F, Gasse F, Hue A et al. Holocene environmental changes in Bangong co basin (Western Tibet). Part 3: Biogenic remains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1996, **120**: 65-78.
- [49] 王 水. 轮藻化石. 北京:科学出版社, 1959;1-33.
- [50] 王 水. 青海柴达木盆地第三纪轮藻化石. *古生物学报*, 1961, **9**(3):183-219.
- [51] 唐伦和, 狄恒恕. 柴达木盆地轮藻化石. 北京:科学技术出版社, 1991;52-53.
- [52] 王 振. 西藏新生代轮藻类记述. 西藏古生物第五册, 北京:科学出版社, 1982;191-201.
- [53] 韩福山, 李尧英. 轮藻门(中国淡水藻志, 第三卷). 北京:科学出版社, 1994.