

西藏结则茶卡湖岸沉积物中铀系年龄及意义

杨俊峰¹, 卢书炜¹, 赵虹², 崔霄峰¹, 吕宪河¹
(1. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450007; 2. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 通过对藏北高原西北部结则茶卡湖泊及其沿岸地质地貌调查, 发现其为一个富含硼、锂、钾、锶的封闭型盐湖, 沿岸海拔 4 850 m 拔湖 325 m 有一条明显的高位湖岸线, 该湖岸线到湖面之间有六级湖积阶地发育, 六级以上阶地保存零星。沿湖岸不同高度上的湖积物 U 系年龄分别为 (14.2±1.2) ka BP (T₂)、(38.0±3.5) ka BP (T₄) 和 (41.6±3.2) ka BP (T₅)。湖面下降的幅度是藏北高原迄今所知最大。根据湖面平均下降速度推算高位湖岸线和高位湖积层的形成年龄在 (120~90) ka BP, 与东部的纳木错和西部的甜水海基本一致, 说明藏北高原在晚更新世初期有一个明显的泛湖期。大约 100 ka BP 结则茶卡湖面开始下降, 晚更新世以来湖泊演化是在封闭体系干旱环境下进行的, 盐湖形成于 14 ka BP 左右, 藏北高原在晚更新世以来气候变化可能为自西向东逐渐变为干寒。

[关键词] U 系年龄; 晚更新世; 湖泊演化; 气候环境; 结则茶卡; 西藏

[中图分类号] P597 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)03-0006-05

Lacustrine Sediments' U seires Age and Its Significance in Jiezechaka Lake of Tibet

YANG Jun feng¹, LU Shu wei¹, ZHAO Hong², CUI Xiao feng¹, LÜ Xian he¹
(1. Geological Survey Institute of Henan Province, Zhengzhou 450007, Henan, China;
2. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract According to the geological and physiognomonical survey of Jiezechaka lake located in the Northwest of the tableland of North Tibet, the lake is closed and abundant in Boron, Lithium, Potassium, Strontium. There exists a distinctive perch lake shoreline at an altitude of 4 850 metres, 325 meters higher than the present lake surface, six levels of lacustrine deposit terrace developed between the old and present shorelines. The U series age of the lacustrine sediments in different altitude is (14.2±1.2) ka BP (T₂), (38.0±3.5) ka BP (T₄) and (41.6±3.2) ka BP (T₅) respectively. The lake, thus far, is known as the largest descending extent of the lake surface in the tableland of North Tibet. By reckon of the falling speed, the old lake shoreline and the lacustrine sediments formed in (120~90) ka BP, the same as the Namucuo lake in the East and Tianshuihai lake in the west. It indicates that there is a period of flooding lake in the tableland of North Tibet during the late Pleistocene. At about 100 ka BP, the surface of the lake began to decline and the lake evolved in closed environment. The salt lake formed in 14 ka BP and climate might began to become drought from west to east.

Key words: age of U seires; late Pleistocene; evolution of lake; climate envriment; Jiezechaka; Tibet

0 引言

藏北高原号称“世界第三极”, 海拔多在 4 000 m 以上, 气候干寒, 空气稀薄, 湖泊众多, 大于 1 km² 湖泊有 625 个, 面积在 7 815 km² 左右 (河南区调队, 2003)。几十年来, 科学家对西藏高原湖泊进行了研究, 其中韩同林^[1-2] 和中国科学院青藏高原综

[收稿日期] 2005 10 04
[基金项目] 西藏自治区人民政府“西藏自治区盐湖矿产资源遥感调查”项目(藏政发[2000] 112 号)
[作者简介] 杨俊峰(1964-), 男, 陕西蓝田人, 高级工程师, 从事区域地质调查和第四系研究。

合科学考察队^[3-4]等在纳木错发现了不同高度的 3 级湖积阶地和 8~10 条古湖岸堤, 提出了中晚更新世在西藏有一个“大水湖时期”的看法。郑绵平^[5]等对扎布耶查卡、班戈错等湖泊进行了研究, 在湖岸沉积物中取得了一些同位素样品, 提出了青藏高原(40~28)ka BP 时期为“泛湖期”和“大湖期”的观点。李炳元^[6-7]在研究青藏高原湖积特征后认为, 泛湖期出现在(40~25)ka BP。2000~2001 年, 赵希涛、朱大岗、马志邦^[8-9]等对纳木错湖进行了深入研究, 对湖岸第四纪地层和地貌进行了划分, 建立了纳木错群, 沿岸划分出了六级阶地, 并发现了海拔 4 857.2 m 高位湖积层, 测定一系列¹⁴C 和 U 系同位素年龄样, 并在此基础上提出了“古大湖”的新观点, 将纳木错晚更新世以来的湖泊演化划分为羌塘古大湖期、外流湖期和纳木错期, 认为包括纳木错和色林错等羌塘高原东部的一大批现代大中型湖泊, 在羌塘古大湖期是一个互相连通的大湖, 称为“羌塘东湖”, 它或许还与羌塘高原中南部和西南部的其他古大湖相连, 成为统一的羌塘古大湖。

结则茶卡位于藏北湖盆地西北部, 班公湖-怒江缝合带北缘, 湖岸沉积物和湖成地貌较为发育, 湖水盐度高, 交通便利, 是研究青藏高原湖泊演化、气候变化、古地理变迁、第四系划分和盐湖成矿规律的有利地段, 也是进行盐湖资源勘探、开发和利用的理想区段。然而由于地理和历史原因, 前人工作程度比较低, 第四纪地貌地层划分和湖积物测年数据未见公开报道, 盐湖的调查程度比较低。2002 年, 笔者对藏北高原西部和北部的结则茶卡、鄂雅错、纳屋错、才玛尔错湖区进行了地质填图、剖面测制、卤水网线取样、浅井挖掘, 采集了大量的湖水及湖岸沉积物化学样、卤水氢、氧、硼稳定同位素样和湖岸沉积物 U 系测年样, 对该区进行深入研究。

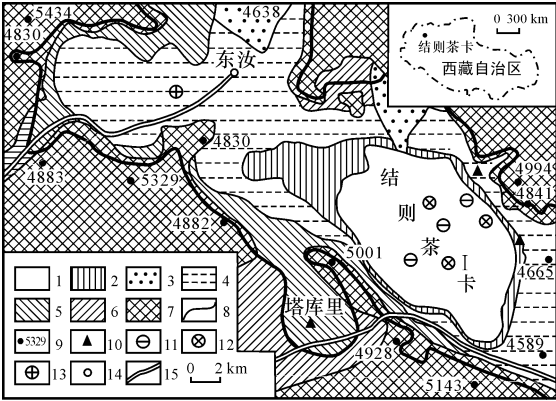
1 概况

结则茶卡位于西藏阿里地区日土县境内, 地理坐标为 80°55′E, 33°56′N, 呈北西—南东向椭圆形展布, 湖面海拔高度 4 525 m, 湖水面积约 107.6 km², 湖水最深 29 m, 平均 10.5 m, 平均盐度 13.6%, (α D)、(α ¹⁸ O)、(α ¹¹ B) 变化区间分别为 $(-34 \sim -26) \times 10^{-3}$ 、 $(1.2 \sim 1.5) \times 10^{-3}$ 和 $[(-3.04 \pm 0.48) \sim (-0.05 \pm 0.40)] \times 10^{-3}$, 是一

个富含硼、锂、钾、锶弱碳酸盐型盐湖。湖区气候严寒, 年降水量仅 50 mm 左右, 年蒸发量达 2 065~2 300 mm, 湖水除雨水补给外, 还有少量泉水补给。湖区基岩主要有石炭系霍尔巴错群、下二叠统鲁谷组、上二叠统吉普日阿组、上三叠统肖茶卡群、侏罗系雁石坪群和中新统康托组。霍尔巴错群主要为板岩、变砂岩和千枚岩, 鲁谷组主要为灰岩、泥灰岩和砂岩, 吉普日阿组主要为红色砾岩、砂岩和白云质灰岩, 肖茶卡群主要为灰岩夹砂岩, 雁石坪群主要为砂岩、粉砂岩夹灰岩, 康托组主要为紫红色砾岩(层)、砂岩(层)、粘土岩夹石膏。

湖区第四系分布广泛, 主要由湖积和洪积砾石、砂、粘土及化学沉积物组成。沿湖周围湖积物比较发育, 湖成地貌和湖蚀地形较为明显, 在拔湖 320 m 的山坡上明显可见湖积物和古湖蚀地形。湖区西北部 and 东南部地形缓, 湖积物分布范围广, 阶地比较发育, 阶面宽, 阶坡明显, 但湖蚀地形和古湖岸堤不很清晰。湖区西南部 and 东北部地形陡, 湖积物分布范围窄, 阶地发育不全, 阶面较窄, 而湖岸堤较为发育, 湖蚀地形也特别明显。沿湖第 T₁~T₆ 级阶地比较发育, 第 T₆ 级以上阶地出露比较零星(图 1 表 1), 难以详细划分。T₁ 分布于湖岸最近处, 海拔高度在 4 550 m 以下, 拔湖高度 25 m, 以粘土和化学沉积物为主。T₂ 分布于近湖岸处, 海拔 4 570 m 以下, 拔湖高度 40 m 左右, 在东北和西南两端以粘土和化学沉积物为主, 其余以砾石和砂为主, 在湖西南岸可见由砾石组成的湖岸堤。T₃ 分布于海拔 4 610 m 以下, 拔湖高度可达 85 m, 以砾石和砂为主, 夹有粘土层, 个别地段可见湖蚀槽。T₄ 分布于海拔 4 650 m 以下, 拔湖高度可达 125 m, 以砾石和砂为主, 夹有粘土层, 部分地段可见湖蚀槽、湖蚀柱和湖蚀洞。T₅ 分布于海拔 4 675 m 以下, 拔湖高度可达 150 m, 以砾石和砂为主, 湖蚀槽、湖蚀柱与湖蚀洞在部分地段也明显可见。T₆ 分布于海拔 4 685 m 以下, 拔湖高度可达 160 m, 以砾石和砂为主, 部分地段也可见到湖蚀槽、湖蚀柱与湖蚀洞。在结则茶卡周围海拔 4 845~4 850 m 附近, 存在一条很明显的高位古湖岸线和高位湖积层。该线以下有明显的湖相沉积分布, 且湖蚀地形发育。湖积物以砾石为主, 部分地段夹砂层。砾石多呈扁平状, 向湖方向倾斜, 倾角 10°左右, 未胶结—略胶结, 沉积厚度多小于 10 m。另外沿湖岸线分布众多湖蚀台地, 其大小不一, 面积一般在 600 m² 以

下,微向湖方向倾斜,台面及台缘上发育有湖蚀洞和湖蚀槽,并且有少量湖成砾石与砂沉积。



1-现代湖泊;2-全新世 T_1 阶地;3-全新世洪积物;4-晚更新世 $T_2\sim T_3$ 阶地;5-晚更新世 T_6 及以上阶地;6-早中更新世沉积物;7-基岩;8-最高明显湖岸线;9-高程点;10-U系取样点;11- δD 和 $\delta^{18}O$ 取样点;12- $\delta^{11}B$ 取样点;13-冻土层发现点;14-乡政府所在地;15-简易公路

图 1 结则茶卡湖区第四纪沉积物及样品分布

Fig.1 Distribution of Quaternary Sediments and Samples in the Jiezechaka area

结则茶卡湖岸堤在西南岸、东北岸和东岸部分地段保存较好,多数地段连续分布,绝大多数为砾石堤,可见最宽湖岸堤约 25 m,最窄不到 1 m。湖岸堤间距差别较大,最小小于 1 m,最大大于 100 m,从湖面到海拔 4 850 m 之间,可见 150 条湖岸堤。

表 1 沿岸的湖岸阶地与高湖相沉积层高度

Tab.1 Heights of the Terraces and the Perch

Lacustrine Deposits Along the Coasts of Jiezechaka

阶地及高位湖积层	顶部海拔高程 /m	底部拔湖高程 /m
T_1	4 550	25
T_2	4 570	45
T_3	4 610	85
T_4	4 650	125
T_5	4 675	150
T_6	4 685	160
高位湖积层	4 850	325

2 湖相沉积铀系法测年

2.1 取样位置

为了研究湖岸阶地和湖蚀地形的形成年龄,确定盐湖成盐时代和形成环境,反演晚更新世以来盆地的演化以及气候变化,笔者在结则茶卡周围湖积

物中取了 3 个 U 系年龄样品,岩性均为富含碳酸盐粘土(表 2)。

表 2 结则茶卡和鄂雅错铀系测年样品

Tab.2 Description of Samples for U series Dating from Jiezechaka and Eyacuo

样品编号	采样地点 (按结则茶卡)	海拔高度 /m	拔湖高度 /m
238QJ ₄ U/1	ES 岸 T_2 浅井	4 568	43
238 U006/1	EN 岸 T_4 阶坡顶部	4 650	125
238QJ ₆ U/1	WS 岸塔库里 T_5 浅井	4 675	1150

注:样品由中国科学院地质与地球物理研究所测试

2.2 测试方法和结果

结则茶卡所采样品先后经过了初步处理、溶解、化学分离与提纯及 α 谱测量,最后所得结果见表 3。

表 3 铀系测试数据和年龄

Tab.3 Analysis Data for U series and Its Ages on Lacustrine Deposits

编号		$w\text{ (U) }/10^{-6}$	$\frac{N(^{234}\text{U})}{N(^{238}\text{U})}$	$\frac{N(^{230}\text{Th})}{N(^{232}\text{Th})}$
238QJ ₁ /1	A	2.696±0.076	1.657±0.043	1.639±0.066
	B	5.196±0.157	1.674±0.046	1.602±0.066
	C	3.445±0.111	1.647±0.051	1.579±0.074
238U006/1	A	1.334±0.060	1.398±0.073	1.951±0.106
	B	3.421±0.162	1.401±0.077	1.626±0.086
	C	2.655±0.065	1.421±0.033	1.890±0.102
238QJ ₆ /1	A	1.852±0.089	1.160±0.066	0.978±0.058
	B	2.051±0.078	1.162±0.053	0.947±0.050
	C	1.997±0.094	1.159±0.067	0.920±0.056

编号	$\frac{n(^{230}\text{Th})}{n(^{234}\text{U})}$	$\left(\frac{N(^{234}\text{U})}{N(^{238}\text{U})}\right)_c$	$\left(\frac{n(^{230}\text{Th})}{n(^{234}\text{U})}\right)_c$	$t/\text{ka BP}$
238QJ ₁ /1	0.199±0.006	1.636±0.027	0.123±0.010	14.2±1.2
	0.203±0.006			
	0.204±0.007			
238U006/1	0.352±0.016	1.394±0.037	0.297±0.025	38.0±3.5
	0.368±0.018			
	0.370±0.013			
238QJ ₆ /1	0.996±0.057	1.169±0.036	0.319±0.022	41.6±3.2
	1.028±0.051			
	1.140±0.680			

注: A; 小于 250 目; B; 250~125 目; C; 大于 125 目; 中国科学院地质与地球物理研究所马志邦 2002 年 12 月测试

2.3 结果评述

由表 2 及表 3 可知,结则茶卡样品 U 系年龄分别为 T_2 (14.2±1.2) ka BP、 T_4 (38.0±3.5) ka BP、 T_5 (41.6±3.2) ka BP,将上述测试结果与

纳木错沿岸湖相沉积物 U 系年龄结果($T_1(11.2 \pm 2.0)$ ka BP、 T_2 底部(28.2 ± 2.5) ka BP、 $T_3(32.3 \pm 4.4)$ ka BP、 $T_4(35.2 \pm 3.0)$ ka BP、 $T_5(36.1 \pm 2.2)$ ka BP、 $T_5(79.5 \pm 4.7)$ ka BP、 $T_6(53.7 \pm 5.2)$ ka BP)^[8-9] 相比十分吻合, 因此可认为上述测年结果是可靠的, 说明 T_1 形成于全新世, $T_2 \sim T_5$ 形成于(41.6 ± 3.2) ka BP 以来的晚更新世晚期。 T_6 阶地和高位湖积层与高位湖蚀地形形成时间大于(41.6 ± 3.2) ka BP, 可能为晚更新世早中期沉积。

2.4 高位湖积层、湖蚀地形和湖岸线形成年龄估算

结则茶卡沿岸高位湖积层与高位湖岸线海拔高度 4 845~4 850 m, 拔湖高度达 325 m, 绕湖呈环带状分布。14.2 ka BP 以来湖面下降幅度为 43 m, 平均降速 3.03 mm/a。38.0 ka BP 以来湖面下降幅度为 82 m, 平均降速 3.29 mm/a。41.6 ka BP 以来湖面下降幅度为 150 m, 平均降速 3.61 mm/a。按 3 次平均降速为 3.31 mm/a 计算, 结则茶卡拔湖 325 m 处年龄在 98.2 ka BP, 考虑到湖面中途上升及盆地升降的影响, 结则茶卡高位湖积层、高位湖蚀地形和高位湖岸线形成时代可能在(120~90) ka BP。这个结果与纳木错高位湖积层(115.9 ± 12.1) ka BP^[8] 和甜水海地区 TS95 钻孔 5 d 亚段(137~112) ka BP^[6] 非常接近, (120~90) ka BP 可以代表结则茶卡高位湖积层高位湖蚀地貌和高位湖岸线形成时代为晚更新世早期。

3 意义

3.1 地貌及地层学意义

笔者所取结则茶卡样品的测年结果和阶地划分情况与藏北高原东南部的纳木错地区可以进行对比, 表明高位湖积层沉积时代和高位湖岸线形成时间比较相近, 而且也可与西部甜水海地区对比, 说明青藏高原晚更新世以来的抬升存在着一个整体性, 其抬升速率相差不大, 所形成的地貌也有一定的相似性。现在纳木错(4 718 m)、结则茶卡(4 525 m)和甜水海(4 800 m)的湖面高度、湖盆形状、湖水深度、湖水盐度、湖周围的沉积物类型及成分差别比较大, 所形成的阶地和湖蚀地形特征和拔湖高度(纳木错拔湖 $T_1 \sim T_6$, 拔湖高度分别为 1.5~8.3 m、8.3~15.6 m、14~19.9 m、18.7~25.8 m、26.0~36.9 m、38.3~47.6 m, 高位湖积层拔湖高度为 48~139.2 m^[8-10]) 也存在着差异, 这与晚更

新世以来青藏高原的隆升不同部位有差异以及不同地域气候环境有较大差别有关。

根据结则茶卡湖岸不同高度沉积物的 U 系年龄以及与纳木错和甜水海地区对比来看, 结则茶卡 T_1 形成于 10.5 ka BP 左右, T_2 形成于 14.2 ka BP 左右, T_3 形成于 32.3 ka BP 左右, T_4 形成于 38.0 ka BP 左右, T_5 形成于 41.6 ka BP 左右, T_6 形成于 53.7 ka BP 左右。 T_6 以上阶地形成于晚更新世初期至 53.7 ka BP 间。 T_1 至湖面间的湖积物和湖蚀地形形成于全新世, T_2 至高位湖岸线间的湖积物和湖蚀地形形成于晚更新世。

3.2 湖泊演化意义

湖泊湖面的波动与构造变动、气候变化和其他突发事件(湖水突然大量外泄或其他水体突然大量涌入)出现有关。结则茶卡湖周围晚更新世以来所形成的地貌特征和拔湖高度基本对称, 对应沉积物也大致相近, 其高位湖岸线海拔高度均低于湖周围分水岭的海拔高度, 目前还没有发现结则茶卡有地下通道与其他水体相连, 湖水不可能外泄, 其他水体也无法涌入, 湖泊的演化完全是在处于封闭的环境下进行的, 其湖面的变化主要受湖水补给量和蒸发量大小的影响。现在的结则茶卡湖周围仅有少数流量较小的泉水和大部分时间无法向湖泊补给水量的个别雪山, 它们对湖泊的补给微乎其微, 湖水的补给主要靠下雨(雪), 而现在湖区的年降雨量仅 50 mm 左右, 年蒸发量却达 2 065~2 300 mm, 湖水蒸发量远远大于补给量。晚更新世以来结则茶卡湖面总体在下降, 说明湖区总的气候为干旱少雨, 但中间肯定有短时间的湿润多雨气候, 使得湖面出现短暂的上升。调查中还发现, 近 30 年来结则茶卡经历了 20 世纪 70 年代到 80 年代早中期湖面小幅下降、80 年代后期到现在湖面小幅上升的过程。

结则茶卡高位湖积层、高位湖蚀地形和高位湖岸线形成于(120~90) ka BP, 相当于纳木错拔湖 139.2 m 高位湖积层^[8-10] 和甜水海地区 TS95 钻孔 5 d 亚段^[6] 沉积时间。大约 100 ka BP 左右^[9] 结则查卡湖面开始下降, 湖泊逐渐萎缩, (100~41.6) ka BP 湖面下降了近 180 m, 平均降速 2.5 mm/a 左右, (41.6~38.0) ka BP 湖面又下降了 25 m 左右, 降速 6.2 mm/a, (38.0~14.2) ka BP 湖面下降幅度超过 80 m, 降速 3.3 mm/a 左右, 14 ka BP 以来湖面下降幅度大于 40 m, 降速 3.2 mm/a 左右。其 100

ka BP 以来湖面下降了 300 多米, 降幅远大于纳木错, 下降幅度和速度在藏北高原迄今所知为最大^[6, 10]。这除与结则茶卡地区构造运动与其他地区有差别外, 还与干旱少雨的气候环境有关, 显示了藏北高原第四纪晚期构造演化和气候变化在不同地区存在差异。

3.3 气候学意义

藏北高原西部的结则查卡、东部的纳木错^[7]以及喀拉昆仑山与昆仑山交汇部位的甜水海^[5], 高位湖积层和高位古湖岸线现海拔高在 4 845~4 860 m 之间, 表明当时藏北高原气候环境相近, 同位素测定年龄和推算年龄显示这个时期为 (137~90) ka BP^[6]。结则查卡高湖面的形成必须得于此前湿润的气候和充沛的雨量, 根据甜水海地区研究成果, 该气候环境大致出现在 (145~137) ka BP^[6], 与青藏高原东部气候变化特征也相近^[11]。结则查卡在高湖面期, 气候可能比较凉爽, 湖面在此高度保持了较长时间, 形成了高位湖积层和高位湖岸线及高位湖蚀地形, 说明该地区当时总体在西南暖湿气流的控制之下, 喜马拉雅山和藏北高原海拔高度比现在应该低多了, 否则, 受其阻挡西南暖湿气流不可能长期控制该地区。高湖面期后 (大约 100 ka BP) 西南暖湿气流明显减弱, 湖区气候趋于温干, 湖水的蒸发量已大于补给量, 湖面开始缓慢下降, 这与喜马拉雅山和藏北高原急剧升高有关。(100~41.6) ka BP 湖面大幅度下降, 补给量小于蒸发量, 说明气候总体已经变为干旱少雨, 但中途可能有短暂的湿润气候。(41.6~38.0) ka BP 湖面大幅下降, 说明气候进一步变为干旱少雨, 后期湖水可能已变为咸湖, (38.0~14.2) ka BP。虽然中途有多次短暂的湿润气候, 气候总体以温干为主, 湖面进一步下降, 后期有逐渐变为盐湖的趋势。14.2 ka BP 以来, 气候总体以干寒为主, 蒸发量远大于补给量, 湖水大幅度浓缩成为高盐度的盐湖。而东部的纳木错, 在 30 ka BP 左右湖泊的补给量小于蒸发量, 湖面才开始非构造和突发事件原因下降^[10], 直至现在才变为咸湖(这还与纳木错有终年积雪的雪水不断补给有关)。这与青藏高原和喜马拉雅山不断升高、西南季风总体逐渐减弱有关。显示了藏北高原晚更新世以来气候变化总体可能存在自西向东逐渐变为干寒少雨的趋势。

3.4 盐湖研究意义

结则查卡现今湖水面积为 107.6 km², 平均水深 10.5 m, 湖水体积 1.13 km³, 初步估算硼、锂、钾、锶资源量在 1.5×10⁹ t 左右。盐湖资源具有规模大、易勘探、投资少和对环境破坏小的特点。其与扎布耶查卡、扎仓查卡和班戈错等研究程度较高的盐湖比较, 既有相似性, 也存在不少差别。结则查卡晚更新世以来湖泊是在封闭演化体系中进行的, 对其湖积物、湖蚀地形、湖积地貌、沿岸盐类沉积物和高盐度卤水的研究, 不仅有利于总结盐湖成矿和分布规律, 反演出湖泊的演化和气候变化, 而且还可为盐湖大规模勘探开发和利用奠定基础。

成文中得到中国科学院地质与地球物理研究所赵希涛、马志邦研究员、中国地质科学院地质力学研究所朱大岗研究员和长安大学地球科学与国土资源学院党犇副教授的指导和帮助, 在此一并表示感谢!

[参 考 文 献]

[1] 韩同林. 西藏东北部的新生界及其层序讨论[C] //地质矿产部青藏高原地质文集编委会. 青藏高原地质文集: 地层·古生物. 北京: 地质出版社, 1983.

[2] 韩同林. 西藏古湖蚀微地貌的发现及其意义[C] //中国科学院地质研究所. 喜马拉雅地质II. 北京: 地质出版社, 1984.

[3] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

[4] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏河流与湖泊[M]. 北京: 科学出版社, 1984.

[5] 郑绵平, 刘俊英, 齐文. 从盐湖沉积探讨 40 ka BP 以来青藏高原古气候演替[C] //郑绵平. 盐湖资源环境与全球变化. 北京: 地质出版社, 1996.

[6] 施雅风, 李吉均, 李炳元. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化[M]. 广州: 广东科学技术出版社, 2002.

[7] 李炳元. 青藏高原大湖期[J]. 地理学报, 2000, 55(2): 174~182.

[8] 赵希涛, 朱大岗, 吴中海. 西藏纳木错晚更新世以来的湖泊发育[J]. 地球学报, 2002, 23(4): 329~334.

[9] 马志邦, 赵希涛, 朱大岗. 西藏纳木错湖相沉积的铀系年代学研究[J]. 地球学报, 2002, 23(4): 311~316.

[10] 赵希涛, 朱大岗, 严富华. 西藏纳木错末次间冰期以来的气候变迁与湖面变化[J]. 第四纪研究, 2003, 23(1): 41~52.

[11] 景民昌, 杨革联, 孙乃达. 末次间冰期—末次冰期柴达木盆地东部气候演化形式[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 83~87.