

文章编号: 1000-0550(2009)03-0503-08

青藏高原纳木错湖阶沉积的发生特征及环境指示意义^①

王利强¹ 易朝路¹ Brigitta Schütt² 董国成¹

(1. 中国科学院青藏高原研究所 北京 100085 2 柏林自由大学自然地理系 柏林 12249)

摘要 选取的 21 个湖相沉积物样品分别采自纳木错湖西岸塔吉古日(剖面 Nam Co 1)和纳木错湖北岸的干玛弄附近(剖面 Nam Co 2)。按照其发生特征分别将剖面从顶部到底部划分为 12 个和 9 个层次,通过分析各个层次沉积物的粒径分布特征、质地组成特点、总有机碳(TOC)、总无机碳(TIC)、总碳(TC)的百分含量、酸度值(pH)、电导率(EC)、含水量等若干环境指示因子。结果显示:无论在比较两个剖面的发生特征,还是环境指示因子特征,剖面 Nam Co 1 发育程度较剖面 Nam Co 2 更加发育;通过对测年数据结果分析,两个剖面均形成于晚更新世,并且通过比较各自剖面在垂直方向上的各项环境指示因子的变化趋势,可知纳木错湖流域在晚更新世(约 40 ka BP)阶段发生过 3 次相对明显的冷暖交替过程。

关键词 粒径特征 土壤有机质 青藏高原 纳木错 发生特征

第一作者简介 王利强 男 1980 年出生 在读博士生 地貌与生态环境 E-mail wanglq@itpcas.ac.cn

通讯作者 易朝路 男 1959 年出生 研究员 冰川地貌研究 E-mail clyl@itpcas.ac.cn

中图分类号 P512.2 P343.3 文献标识码 A

对于全世界大陆范围来说,青藏高原以其独特的自然地理位置对于全球气候,尤其是对于整个欧亚大陆气候变化有着强烈的、显著的影响^[1]。因此许多学者和科学家把青藏高原称之为全球气候变化的“驱动器”和“放大器”^[2~4]。虽然这一观点并不是被每个人都认同,但是毫无疑问青藏高原是研究自然环境的最为理想和最为敏感的区域。众所周知,青藏高原存在着海拔最高和密度最大的湖泊群,而且绝大部分属于内陆湖。其中纳木错湖就是最为典型的一个高原内陆湖泊。由于此区域几乎不受人活动的影 响,自半个多世纪以来许多科学家和学者已经对纳木错做了一系列的研究考察^[5~8]。最初对于纳木错地区考察旨在对于青藏高原进行初步的调查和收集基础数据,由于受到各种条件的限制,当时很难对此地区进行系统的、深层次的研究。随着全球气候变暖这一焦点问题越来越受到关注,近年来很多学者把问题集中在青藏高原的环境演变上,特别是纳木错地区第四纪环境演变。从“青藏高原之古大湖”这一论点的提出,地质学者对此观点的论证和支持^[9],通过分析纳木错湖区广泛分布的湖岸线和湖相沉积物特征,结合研究区域的地形地貌特点来揭示古气候环境的特征。与此同时,精确的测年技术和数据结果对于确定

古大湖的形成时期起到了重要的作用^[10]。纳木错湖周围可以观测到由砂与粘土组成的四级阶地,在二级阶地上可见组成阶地的湖相和湖滨相沉积物,可作为包括纳木错在内的古大湖存在的证据^[11]。将此区域及相邻区域的湖面变化通过铀系测年和孢粉分析可划分为 3 个阶段。并且纳木错湖面变化曲线与西昆仑古里雅、格陵兰、南极等冰芯和深海岩芯的氧同位素变化曲线的对比,亚洲夏季风在末次冰期和末次冰期间冰期的强度均高于现代时期^[12~13]。通过对纳木错区域湖相沉积进行铀系定年、¹⁴C 定年以及孢粉分析,揭示自晚更新世以来气候环境的变化趋势特点,以及将本区全新世期间的气候变化和相应沉积物演化过程划分为 3 个阶段^[14~16]。可见,以往所作的工作大多是围绕“是否存在古大湖”这一问题展开并通过对于纳木错流域的区域地质、湖位、阶地变化以及湖相沉积等一系列对象的调查来揭示纳木错区域古环境、古气候的特征。

半个世纪以来,粒度分析在反映沉积特征和动力学特征方面是重要分析手段之一,尤其应用在沉积物分析上就显得更为突出^[17]。为了得到客观的分析结果,选择适宜的数据统计方法就显得尤为关键^[18]。一般来讲,只要累计尾部数值大于 95%,应用 F 和 W

① 国家自然科学基金(批准号: 40730101) 国家自然科学基金(批准号: 2005CB422001)和“中国科学院‘百人计划’项目”(编号: 40520140126)共同资助。

收稿日期: 2008-05-14 收修稿日期: 2008-08-08

参数方法更优于相应的对数曲线参数方法。虽然近年来许多研究者提出一系列不同的统计模型,总起来讲主要分为对数正态模型和对数曲线模型,并且大多数沉积学家和地质学家更热衷于以百分位数统计的 Folk 和 Ward 模型^[19]。

土壤有机质(碳)(SOC)含量能够反映气候变化,主要由于有机质的分解效率与土壤温度、湿度有关^[20]。同时土壤有机质的丰度也能指示温度和降水量的变化^[21~23]。近期研究表明土壤有机质与气候以及垂直剖面上不同层次的植被密切相关^[24]。当然,除了土壤有机质以外,土壤质地的作用也不可忽视,与粘土含量呈正相关关系^[25]。

本文研究目的是通过选取海拔相近(选取剖面处于相同的阶地)、自然地理位置不同的湖相沉积剖

面两个,按照发生特征分层,通过对比分析其粒径组成特征、总有机碳含量、总无机碳含量、总碳含量、酸度、电导率、含水量等若干环境指示因子来揭示沉积的发生特性以及在剖面的不同层次上所反映的局地古气候和古环境变化趋势以及成因。

1 研究对象和方法

1.1 研究区域和样点位置

纳木错湖(N30°30′~30°56′, E90°16′~91°03′)湖面面积为 1 940 km²,海拔 4 730 m 是世界上海拔最高、面积最大的湖泊(图 1)。该流域位于岗底斯山一念唐古拉山北部,属于藏北南羌塘高原湖盆区,是一个封闭湖盆。湖区东南部的念青唐古拉山平均海拔约 5 500 m,主峰念青唐古拉峰高达 7 162 m 整

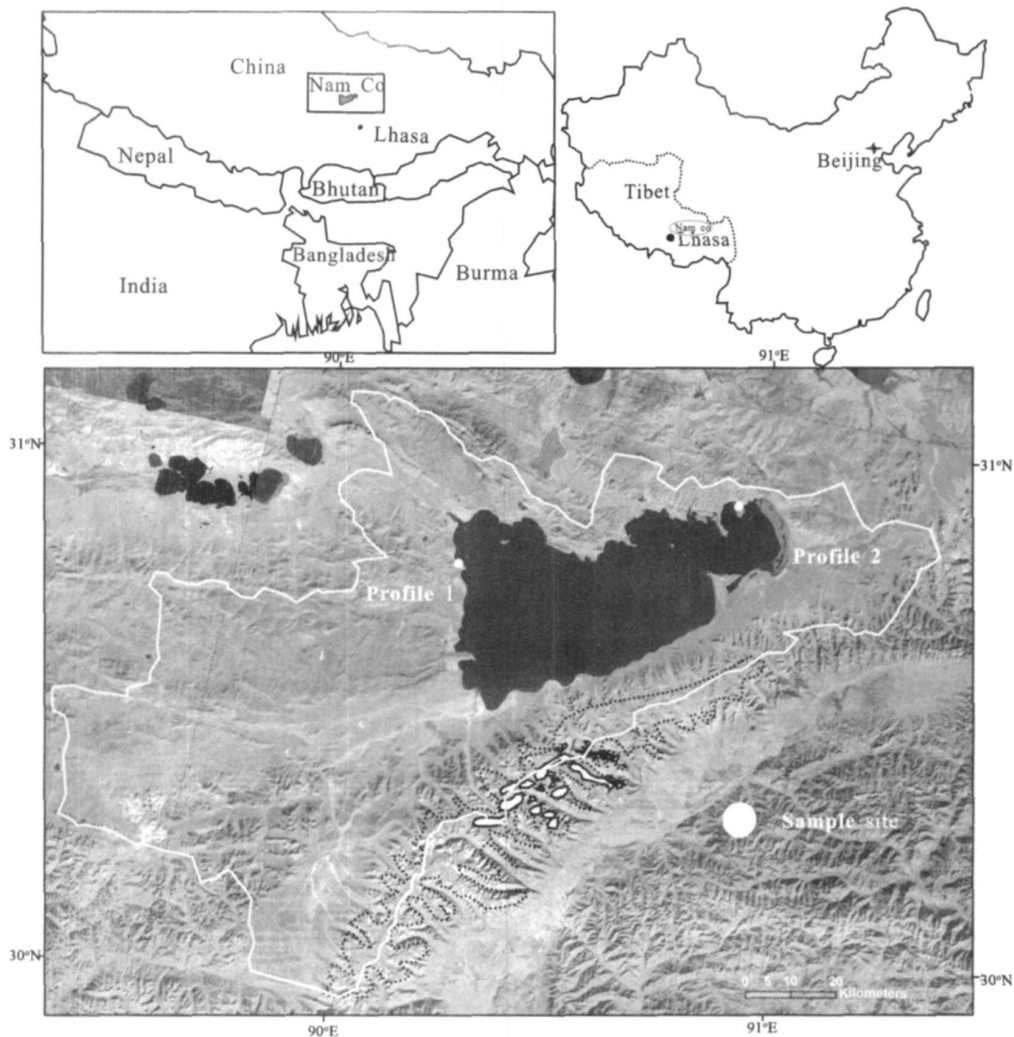


图 1 研究区域和采样位置示意图

Fig 1 The sketch map showing the study area and sampling sites

个流域太阳辐射强、日照时间长, 全年可达 2 900 ~ 3 200 h 属于高原亚寒带季风半干旱气候区。气候寒冷, 空气稀薄, 四季不分明, 由于此区受人类活动影响较小, 其冰川与湖泊的演化基本受自然条件与气候变化制约。

本文涉及的两个湖相阶地剖面样品分别采自纳木错西岸附近的塔吉古日 (剖面 Nam Co 1, N 30°46' 75", E 90°17' 47", 4 767 m a s l), 剖面深度 188 m; 和纳木错东北岸的干玛弄附近 (剖面 Nam Co 2, N 30°55' 53", E 90°55' 39", 4 762 m a s l), 剖面深度为 130 m 根据其湖拔高度分别为 37 m 和 32 m 均处在第五级湖相阶地上 (T5)。两条剖面均未见底, 采样时间为 2006 年 8 月。

1.2 样品与测试方法

所有样品均自然风干、剔除样品中的草根、碎屑物等, 轻轻研磨将全部样品通过 0.5 mm 土壤筛, 储存在干净封闭的样品袋中, 便于以后测试。

样品粒径分析主要包括湿筛和干筛两个部分。大于 63 μm 的样品使用干筛法; 小于 63 μm 的样品颗粒使用湿筛法。考虑到样品中含有较多的碳酸盐, 在测试之前用浓度为 9.9% 的盐酸溶液将其溶解。样品总有机碳和总碳含量使用 “Camhograph” 分析仪测定, 其差值为无机碳含量, 测试之前样品需研磨成均匀分布的微粒。将研磨后的样品放在特定的马弗炉中, 炉内温度设定为 550°C, 同时给炉内充入氧气使样品充分燃烧, 当仪器电脑屏幕上的曲线保持恒定时, 此时的差值即为样品总有机碳含量。样品总碳含量与总有机碳含量的测试方法相似, 只是此时炉内温度设定为 1000°C。样品酸度值 (pH) 和电导 (Electrical Conductivity) 需要最初自然风干样品分别与浓度为 0.1 mol/L 的氯化钾溶液和去离子水混合, 重量和容积比率为 1/2.5 振荡、静置半小时后用酸度计和电导计测试即可。

2 研究结果与讨论

表 1 描述了剖面 Nam Co 1 和剖面 Nam Co 2 沉积物样品的主要宏观形态特征。文中两个剖面各个层次的划分按照沉积物的颜色、质地、结构、根系密度等指标来划分, 分别划分为 12 层和 9 层, 剖面未见底。总体来看, 剖面 Nam Co 1 以黄色为主色调, 而剖面 Nam Co 2 则以红色为主色调。在两个剖面中沉积物颜色相对的亮度值呈现交替出现的现象。在一定的程度上, 我们可以说沉积物中所含有机碳丰度是导

致其颜色发生变化的主要原因, 尤其是在干旱地区这一现象更为明显^[26-27]。仅从沉积物颜色这一指标可判断出剖面 Nam Co 1 的整体总有机碳含量要明显高于剖面 Nam Co 2。通过表 1 可以看出, 由于土壤质地主要受到来自于植物根系的有机质的影响, 所以根系密度越大, 土壤质地相对就越好, 土壤发育程度也就较深, 因此两个剖面的上层沉积物质地均好与中部和底部沉积物的质地。同样两个剖面都呈现出剧烈的碳酸盐反应 (加入盐酸溶液有强烈的气泡生成), 主要由于采样位置的母岩为碳酸盐, 剖面性状受其母岩的影响较大; 同时在沉积物在较干旱的气候环境条件下, 有利于次生碳酸盐的累积。稀少的降水和干旱的气候使风化过程和成土过程的可溶性产物淋溶不彻底, 在湖相阶地的演替过程中碳酸盐矿物便于存留在剖面各层中, 使整个剖面的酸度值呈现碱性^[28-29]。除了剖面 Nam Co 1 顶部层次外, 文中的两个剖面的结构特点是从顶部的单粒结构过渡至底部的粒状结构。

在用来解释沉积特征、古环境古气候的气候变化过程中, 粒度分析是最为有效的方法之一。其中沉积物粒径的平均值、众数值和中值是 3 个主要的特征因子^[30]。从表 2 中可以看出, 剖面 Nam Co 1 的平均粒径范围在 5.4 ~ 6.6 ϕ , 众数值范围在 4.0 ~ 5.6 ϕ , 平均值区间在 4.7 ~ 7.5 ϕ , 而剖面 Nam Co 2 的平均粒径、众数值和中值的变化范围分别是 4.2 ~ 4.9 ϕ , 3 ~ 5.6 ϕ 以及 3.6 ~ 5.0 ϕ 之间。总体看来, 前者剖面的 3 个粒径特征值均明显小于后者, 表明剖面 Nam Co 1 的沉积物相比较剖面 Nam Co 2 含有更多的细颗粒。图 2 显示了两个剖面样品的质地组成, 剖面 Nam Co 1 的质地组成为砂粉质, 而剖面 Nam Co 2 的颗粒相对比较粗, 样品的质地为粉砂 (据 FAO 的分级标准)。在评价沉积特征时沉积物的粘粒含量也是主要因子之一, 而所采集的两个剖面的粘粒质量含量约在 10% 左右, 而粉沙含量是粘粒含量的 3 ~ 7 倍, 更具有代表性, 因此选取粉沙含量这一特征值更能反映沉积物的沉积特征。

如表 3 所示, 剖面 Nam Co 1 的总有机碳含量介于 0.83% ~ 2.61% 之间, 而其总无机碳含量 (2.04% ~ 7.37%) 要明显高于总有机碳含量, 主要由于沉积物母质受到局地位置母岩的影响, 而此处的母岩多为碳酸盐, 所含的无机碳绝大部分来自于碳酸盐, 所以其含量也就相对较高, 总无机碳含量占总碳含量最高

表 1 剖面 Nam Co 1 和 Nam Co 2 的主要宏观形态特征

Table 1 Major macro-morphological characteristics of profile Nam Co 1 and Nam Co 2

编号	深度 /cm	颜色	质地	结构类型	干湿度	碳酸盐反应	根系密度
剖面: Nam Co 1							
Nam Co 1-12	2	2 5Y 6/1	粉砂壤	粒状结构	干	强烈	较多
Nam Co 1-11	8	2 5Y 7/2	粉砂	单粒结构	干	强烈	较少
Nam Co 1-10	18	5Y 6/2	壤土	粒状结构	干	强烈	较多
Nam Co 1-9	28	5Y 7/2	粉砂壤	粒状结构	干	强烈	较少
Nam Co 1-8	47	5Y 7/1	砂壤	单粒结构	干	强烈	—
Nam Co 1-7	66	5Y 7/2	砂壤	单粒结构	干	强烈	—
Nam Co 1-6	85	5Y 7/1	砂壤	单粒结构	干	强烈	—
Nam Co 1-5	104	5Y 7/2	砂壤	单粒结构	干	强烈	—
Nam Co 1-4	122	5Y 7/1	砂壤	单粒结构	干	强烈	—
Nam Co 1-3	148	5Y 6/1	砂壤	单粒结构	干	强烈	—
Nam Co 1-2	183	5Y 6/2	粉砂壤	粒状结构	润	强烈	—
Nam Co 1-1	188	5Y 4/1	粘土	粒状结构	润	强烈	—
剖面: Nam Co 2							
Nam Co 2-9	15	7. 5YR 3/2	砂土	单粒结构	干	强烈	—
Nam Co 2-8	30	7 5R 7/1	粉砂	单粒结构	干	强烈	—
Nam Co 2-7	38	7 5R 6/1	粉砂	单粒结构	干	强烈	较少
Nam Co 2-6	46	7 5R 7/1	粉砂	单粒结构	干	强烈	—
Nam Co 2-5	57	7 5R 6/1	粉砂	单粒结构	干	强烈	较少
Nam Co 2-4	67	7 5R 7/1	粉砂	单粒结构	干	强烈	—
Nam Co 2-3	80	7 5R 6/2	砂壤	粒状结构	干	强烈	较少
Nam Co 2-2	115	7 5R 4/1	砂壤	粒状结构	润	强烈	较少
Nam Co 2-1	130	7 5R 4/1	砂壤	粒状结构	润	强烈	—

表 2 剖面 Nam Co 1 和剖面 Nam Co 2 的粒度分布特征和质地组成

Table 2 Grain size distribution and texture composition in profile Nam Co 1 and Nam Co 2

编号	深度 /cm	平均粒径 ϕ	众数粒径 ϕ	中值粒径 ϕ	砂粒 /%	粉砂 /%	粘粒 /%
剖面: Nam Co 1							
Nam Co 1-12	2	5.4	5.6	5.6	47.8	42.8	9.4
Nam Co 1-11	8	6.0	5.6	7.2	35.9	52.3	11.7
Nam Co 1-10	18	6.4	5.6	7.5	25.8	60.0	14.2
Nam Co 1-9	28	5.7	5.6	5.8	34.0	56.6	9.3
Nam Co 1-8	47	6.3	5.6	7.2	41.9	41.6	16.5
Nam Co 1-7	66	6.2	5.6	7.2	28.0	59.6	12.4
Nam Co 1-6	85	6.6	5.6	7.5	14.9	71.4	13.7
Nam Co 1-5	104	6.6	5.6	7.5	14.5	71.1	14.4
Nam Co 1-4	122	5.3	5.6	5.3	50.0	40.5	9.4
Nam Co 1-3	148	5.1	4.0	4.7	58.4	33.0	8.6
Nam Co 1-2	183	5.2	4.0	5.3	59.3	31.9	8.9
Nam Co 1-1	188	5.9	5.6	7.0	47.0	37.0	16.1
剖面: Nam Co 2							
Nam Co 2-9	15	4.2	3	3.6	64.5	31.4	4.1
Nam Co 2-8	30	4.8	5.6	4.0	55.7	39.0	5.4
Nam Co 2-7	38	4.4	5.6	3.7	54.7	39.9	5.5
Nam Co 2-6	46	4.8	5.6	5.0	51.7	42.1	6.1
Nam Co 2-5	57	4.7	5.6	4.6	58.4	32.0	9.6
Nam Co 2-4	67	4.6	5.6	4.8	57.0	36.8	6.2
Nam Co 2-3	80	4.9	5.6	4.8	50.9	40.6	8.6
Nam Co 2-2	115	4.5	5.6	4.5	57.7	36.0	6.3
Nam Co 2-1	130	4.7	5.6	4.8	54.2	38.9	6.9

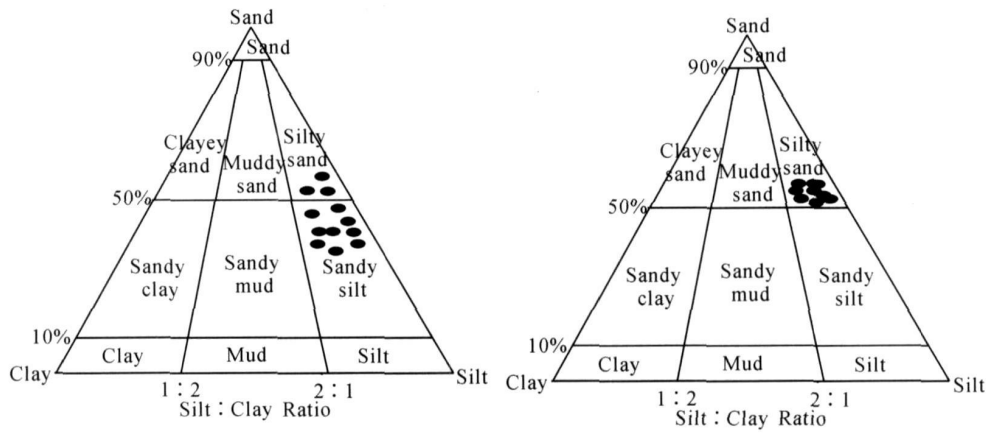


图 2 剖面 Nam Co 1(左)剖面 Nam Co 2(右)沉积物质地组成(据 FAO 的分级标准)

Fig 2 The sediment texture composition of profile Nam Co 1 and Nam Co 2 (According to the FAO)

表 3 剖面 Nam Co 1 与 Nam Co 2 的主要物理、化学特性

Table 3 Main chemical and physical characteristics of profile Nam Co 1 and Nam Co 2

编号	总有机碳 /%	总无机碳 /%	总碳 /%	pH	电导率 / μ s	含水量 /%
剖面: Nam Co 1						
Nam Co 1-12	1.35	4.63	5.98	8.3	86.00	0.67
Nam Co 1-11	1.66	4.89	6.55	8.2	96.00	0.91
Nam Co 1-10	2.61	4.32	6.93	8.0	101.00	1.50
Nam Co 1-9	0.83	5.58	6.41	8.5	117.00	0.63
Nam Co 1-8	1.04	6.84	7.88	8.3	165.00	0.59
Nam Co 1-7	1.03	7.37	8.4	8.2	85.00	0.55
Nam Co 1-6	1.68	6.62	8.3	8.0	149.00	1.05
Nam Co 1-5	1.05	6.91	7.96	8.1	138.00	0.90
Nam Co 1-4	0.86	3.42	4.28	8.3	106.00	0.75
Nam Co 1-3	0.92	2.23	3.15	8.2	90.00	0.66
Nam Co 1-2	1.08	2.05	3.13	8.3	112.00	0.77
Nam Co 1-1	1.29	2.04	3.33	8.5	213.00	1.54
剖面: Nam Co 2						
Nam Co 2-9	0.01	4.63	4.64	9.7	298.00	0.27
Nam Co 2-8	0.15	6.25	6.4	9.5	491.00	0.36
Nam Co 2-7	0.34	5.50	5.84	9.3	949.00	0.44
Nam Co 2-6	0.21	5.85	6.06	9.1	539.00	0.59
Nam Co 2-5	0.43	5.64	6.07	9.2	388.00	0.54
Nam Co 2-4	0.35	5.83	6.18	9.4	254.00	0.37
Nam Co 2-3	0.16	5.86	6.02	9.3	235.00	0.51
Nam Co 2-2	0.48	5.89	6.37	9.1	131.00	0.34
Nam Co 2-1	0.5	5.97	6.47	9.1	175.00	0.40

可达 87.74%。与剖面 Nam Co 1 相比,剖面 Nam Co 2 总有机碳含量均小于 0.5% (0.01% ~ 0.48%), 其含量远远小于总无机碳含量 (4.63% ~ 6.25%), 总无机碳含量占总碳含量的比例均在 90% 以上, 最高值可达 99.78%。剖面 Nam Co 1 和剖面 Nam Co 2 的酸度值都呈碱性, 这主要与沉积物中还有大量的碳酸盐母质有关。前者酸度值介于 8.0 ~ 8.5 而后者范围在 9.1 ~ 9.7 之间, 两者酸度之间的差异与无机碳

含量明显存在正相关。除了沉积物中的可溶性盐分影响酸度之外, 电导率也受其影响。同样, 电导率的变化也能反映其干湿变化。样品的含水量一般与土壤质地、有机质含量等因素密切相关, 剖面 Nam Co 1 的含水量在 0.55% ~ 1.54% 之间, 总体来看明显高于剖面 Nam Co 2 的含水量 (0.27% ~ 0.59%), 与质地组成中粘土含量、有机质含量都明显偏低相关。

根据铀系法测年, 确定环纳木错湖的第五级湖积

阶地 (T5) 的形成年代为晚更新世时期 (约 40 ka BP)^[3], 文中选取的两个剖面正处在五级阶地上, 可判定剖面 Nam Co 1 与剖面 Nam Co 2 的形成年代属晚更新世晚期。

从选取粒径组成特征 (平均粒径、中值粒径)、总有机碳含量、酸度、电导率、含水量等指示因子的变化可以看出, 两个剖面从顶部到底部均呈现相似的变化趋势 (图 3)。一般说来, 粒径值 ϕ 、有机碳含量、粉砂含量、酸度值、电导率、含水量的增大, 所反应的当时的环境趋于湿润, 温度较高, 反之说明其气候环境趋于干燥, 温度相对较低。文中的两个剖面虽然地理位置相差很多, 但都出现 3 次冷暖、干湿交替的过程。当然由于沉积物在地层和年代上存在不连续性, 只能说明在晚更新世晚期的一定的时段内, 存在着三次相对明显的气候交替过程。图 3 中实线线条表示当时的气候环境相对比较湿润, 可以称之为暖期, 而虚线线条表示气候环境相对寒冷干燥, 可称之为冷期。

3 结论

文中所选取剖面的各个层次是根据沉积物的发生特征 (颜色、质地、结构、湿度、根系密度以及碳酸盐反应等) 划分的, 在垂直剖面上, 尽管各个层次的沉积物环境指示因子的数值呈现明显的变化, 并存在一定的规律特征, 在一定的程度上能反映不同层次的沉积物在不同时期的气候环境变化, 所以应用发生学特征是划剖面层次的有效方法之一。

剖面 Nam Co 1 与剖面 Nam Co 2 相比, 沉积物发育程度更高, 前者的平均粒径和中值粒径值相对较小, 质地组成上所含的粉砂和粘粒成分更多, 并且有机质含量远远大于后者, 酸度值略小于后者等一系列结果表明, 这将更有利于沉积物的进一步发育。

通过分析两个剖面所处的阶地级数以及参考已有的定年数据, 判断文中选取得两个剖面均最早年限形成晚更新世晚期, 分析垂直剖面上一系列环境指

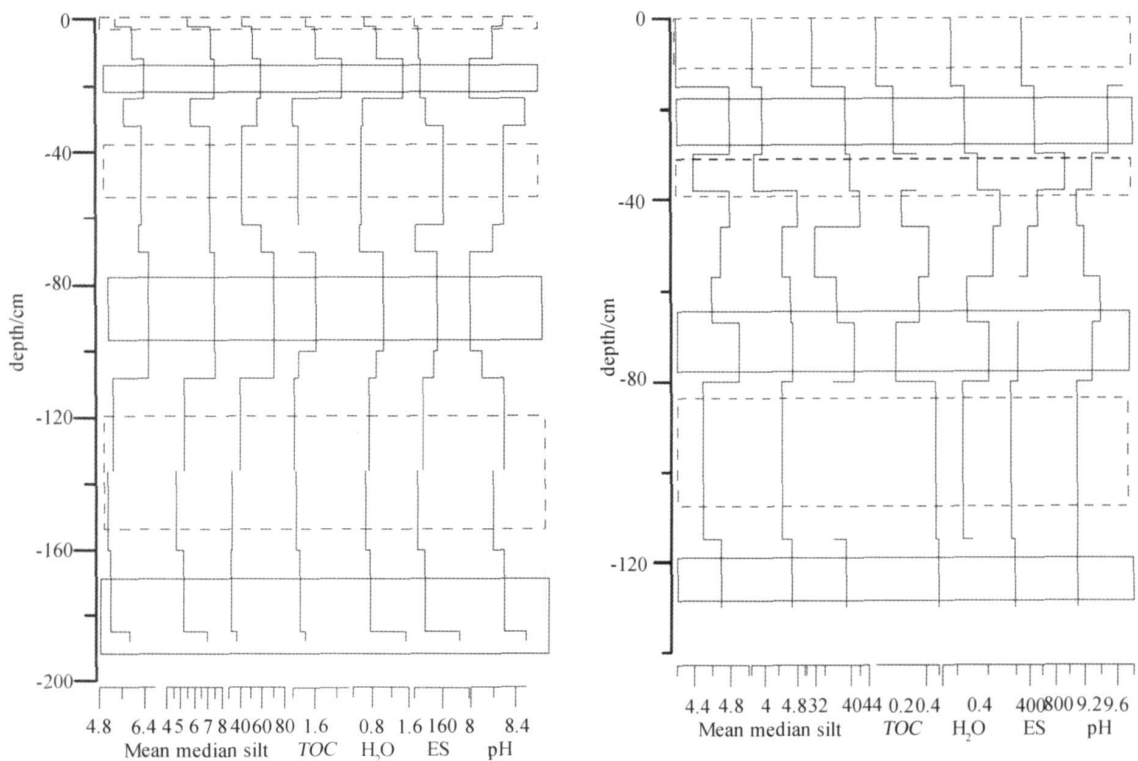


图 3 平均粒径、中值粒径、粉砂含量、总有机碳含量、电导率、含水量、酸度值与剖面深度之间的变化趋势 (左: 剖面 Nam Co 1; 右: 剖面 Nam Co 2)

Fig 3 The changing trends of mean median of grain size silt content TOC EC and pH with the depth of the Profile (left Profile Nam Co 1; right Profile Nam Co 2)

示因子的变化趋势,推断纳木错地区曾在晚更新世晚期某一时期内曾出现过三次冷暖、干湿交替的过程。

参考文献 (References)

- Kutzbach JE, Prell W L, Ruddiman W F. Sensitivity of Eurasian climate to surface uplift of the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Geology* 1993 101 (2): 177-190
- Kuhle M. Observations supporting the Pleistocene inland glaciations of high Asia [J]. *Geological Journal* 1991 25(2): 133-231
- 冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据 [J]. *科学通报*, 1998 43(6): 633-636 [Feng Song, Tang Mao-cang, Wang Dongmei. The Tibet Plateau is the new evidence of climate changing start-up area of China [J]. *Chinese Science Bulletin* 1998 43(6): 633-636]
- 潘保田, 李吉均. 青藏高原: 全球气候变化的驱动器与放大器——青藏高原隆起对气候变化的影响 [J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 1996 1: 108-115 [Pan Baotian, Li Jijun. Qinghai-Tibetan Plateau: a driver and amplifier of the global climatic change (III) the effects of the uplift of Qinghai-Tibetan Plateau on climatic changes [J]. *Journal of Lanzhou University Natural Science Edition* 1996 1: 108-115]
- 关志华, 陈传友, 区裕雄, 等. 西藏河流与湖 [M]. 北京: 科学出版社, 1984 327 [Guan Zhihua, Chen Chuanyou, Ou Yuxiong et al. Rivers and Lakes of Tibet [M]. Beijing: Science Press, 1984 327]
- 李炳元, 王富葆, 张青松. 西藏第四纪地质 [M]. 北京: 科学出版社, 1983 192 [Li Bingyuan, Wang Fubao, Zhang Qingsong. The Quaternary Geology of Tibet [M]. Beijing: Science Press, 1983 192]
- 杨逸畴, 李炳元, 尹泽生. 西藏地貌 [M]. 北京: 科学出版社, 1983 238 [Yang Yitao, Li Bingyuan, Yin Zesheng. Geomorphology in Tibet [M]. Beijing: Science Press, 1983 1-238]
- 中国科学院地理研究所主编. 青藏高原图集 [M]. 北京: 科学出版社, 1990 90-91 [Institute of Geographic Sciences Research of Chinese Academy of Sciences. Atlas of Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Science Press, 1990 90-91]
- 徐敬之. 青藏之天湖 [J]. *地理学报*, 1937 4(1): 897-904 [Xu Jingzhi. The northern heaven lake of Tibet [J]. *Acta Geographica Sinica* 1937 4(1): 897-904]
- 李炳元. 青藏高原大湖期 [J]. *地理学报*, 2000 55(2): 174-182 [Li Bingyuan. The last greatest lakes on the Xizang (Tibetan) Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica* 2000 55(2): 174-182]
- 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等. 西藏纳木错第四纪湖泊沉积与湖成地貌——兼论藏北高原古大湖问题 [J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2003 33(2): 156-162 [Zhu Dagang, Zhao Xitao, Meng Xiangang et al. On the Quaternary lacustrine deposits and the lacustrine landform of Nam Co Xizang (Tibet) [J]. *Journal of Jilin University Earth Science Edition* 2003 33(2): 156-162]
- 赵希涛, 朱大岗, 严富华, 等. 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 [Zhao Xitao, Zhu Dagang, Yan Fuhua et al. Climatic change and lake-level variation of Nam Co Xizang since the Last Interglacial Stage [J]. *Quaternary Sciences* 2003 23(1): 41-52]
- 朱大岗, 孟宪刚, 赵希涛, 等. 西藏纳木错和藏北高原古大湖晚更新世以来的湖泊演化与气候变迁 [J]. *中国地质*, 2004 31(3): 269-277 [Zhu Dagang, Meng Xiangang, Zhao Xitao et al. Evolution and climatic change of Nam Co of Tibet and an ancient large lake in the Northern Tibetan Plateau since the Late Pleistocene [J]. *Geology in China* 2004 31(3): 269-277]
- 朱大岗, 孟宪刚, 赵希涛, 等. 西藏纳木错盆地 116ka 以来沉积演化与青藏高原隆 [J]. *地质力学学报*, 2005 11(2): 173-180 [Zhu Dagang, Meng Xiangang, Zhao Xitao et al. Sedimentary evolution of the Nam Co Basin, Tibet, since 116Ka BP and Qinghai-Tibet Plateau Uplift [J]. *Journal of Geomechanics* 2005 11(2): 173-180]
- 邵兆刚, 孟宪刚, 朱大岗, 等. 西藏纳木错晚更新世以来古降水量变化及其环境响应 [J]. *地质力学学报*, 2004 10(4): 337-343 [Shao Zhao-gang, Meng Xiangang, Zhu Dagang et al. Variation of precipitation in Nam Co, Tibet, since the Late Pleistocene and its environmental response [J]. *Journal of Geomechanics* 2004 10(4): 337-343]
- 吴中海, 赵希涛, 吴珍汉, 等. 西藏纳木错地区约 120 ka BP 以来的古植被、古气候与湖面变化 [J]. *地质学报*, 2004 78(2): 242-252 [Wu Zhonghai, Zhao Xitao, Wu Zhenhan et al. Paleovegetation, paleoclimate and lake level change since 120 Ka BP in Nam Co central Xizang [J]. *Acta Geologica Sinica* 2004 78(2): 242-252]
- Folk R A, Ward W C. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters [J]. *Journal of Sedimentary Petrology* 1957 (27): 3-26
- Friedman G, Sanders J E. Principle of Sedimentology [M]. New York: 1978 792
- Jasper Bartholby, Christian Christiansen, Pederson J m B T. Comparing spatial grain-size trends inferred from textural parameters using percentile statistical parameters and those bases on the log-hyperbolic method [J]. *Sedimentary Geology* 2007 202(3): 436-452
- Trummore S. Age of soil organic matter and soil respiration: Radiocarbon constraints on belowground C dynamics [J]. *Ecological Applications* 2000 10(2): 399-411
- Nakane K. Dynamics of soil organic matter in different parts on a slope under evergreen oak forest [J]. *Japanese Journal of Ecology* 1975 25: 205-216
- Schlesinger W H. Carbon balance in terrestrial detritus [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics* 1977, 8: 51-81
- Oades JM. The retention of organic matter in soils [J]. *Biogeochemistry* 1988 5: 33-70
- Esteban G, Jobbagy Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation [J]. *Ecological Applications* 2000 10(2): 423-436
- Paul E A. Dynamics of organic matter in soils [J]. *Plant and Soil* 1984 76: 275-285
- Shields J A, Paul E A. Spectrophotometer measurement of soil color

- and its relationship to moisture and organic matter [J]. *Canada Journal of Soil Science* 1968 48: 271-280
- 27 Fernandez R N Schulze D G Coffin D L et al. Cobar organic matter and pesticide adsorption relationships in a soil landscape [J]. *Soil Science Society of America* 1988 52(4): 1023-1026
- 28 Institute of Geographic Sciences Research of Chinese Academy of Sciences. Geological map of the Tibetan plateau and its adjacent regions (1:1.5 million) [M]. Beijing: Geological Publishing House 1998
- 29 Li G Karg S Wang X. Heavy metals and rare earth elements (REEs) in soils from the Nam Co Basin Tibetan Plateau [J]. *Environmental Geology* 2007
- 30 霍坎松 L 杨松 M. 湖泊沉积学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1992 [Hakanson L Jansson M. *Principles of Lake Sedimentology* [M]. Beijing: Science Press 1992]
- 31 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等. 西藏纳木错第四纪湖相地层划分及纳木错群的建立 [J]. *地质通报*, 2002 21(11): 708-716 [Zhu Dagan Zhao Xitao Meng Xiangang et al. Division of Quaternary lacustrine strata in the Nam Co area and establishment of the Nam Co Group in Tibet [J]. *Regional Geology of China* 2002 21(11): 708-716]

Genetic Characteristics and Environmental Implications of Sedimentary Deposits of Lake Nam Co in Tibetan Plateau

WANG Li-qiang¹ YI Chao-lu¹ Brigitta Schütt² DONG Guo-cheng¹

(1 Institute of Tibetan Plateau Research Chinese Academy of Sciences Beijing 100085

2 Department of Physical Geography Freie University of Berlin Berlin 12249 Germany)

Abstract In this paper 21 lake sediments samples were collected from Tajiguri situated on the western Nam Co lake (Profile Nam Co 1) and Garmanong located in northeastern Nam Co lake (Profile Nam Co 2) respectively. According the characteristics of the sediments genesis including the color texture structure moisture Presents of carbonates and the roots density and so on the two section plane are divided in to 12 layers and 9 layers separate. By analyzing some main environment implication factors consist of the grain size composition total organic carbon (TOC), total inorganic carbon (TIC), total carbon (TC), pH value electricity conductivity (EC), and water content the results show that the genesis degree of Profile Nam Co 1 is much better than that of Profile Nam Co 2. on the bases of aging data both the two profiles formed from Late Pleistocene and indicated three times cold/warm alternations periods since about 40 ka BP.

Key words grain size distribution soil organic matter Tibetan Plateau Nam Co genesis characteristics