

西藏台错盐湖 TT-1 剖面的沉积特征和年代学研究

魏乐军^{1,2)} 郑绵平³⁾ 马志邦⁴⁾

1) 海南省水务局, 海南 海口, 570203; 2) 海南师范学院, 海南 海口, 571158;

3) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 4) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029

摘要 台错位于西藏羌塘高原西部, 这里因环境恶劣而无人类污染和影响。笔者调查了该湖区一级阶地的湖相化学沉积, 取得了 TT-1 剖面(厚度 369 cm)连续样品 156 个, 平均单样厚度 2.36 cm。就台错剖面的年代测定, 本文分别对同一样品进行了不同方法的测试和相互校验。研究表明, ¹⁴C 方法对有机物质的定年是准确的, 而在消除盐湖化学沉积建造中碳酸盐的“新碳”、“老碳”的影响方面, 仍需做进一步的研究。与此同时, 铀系法测年的全溶样品的等时线技术, 避免了同位素的分馏问题, 所有的测试数据在等时线上都有良好的线形关系, 表明获得的年龄数据是合理的。从而确定了 TT-1 剖面盐湖沉积的可靠地质时代为 32.6~4.5 ka B P 间的晚更新世晚期至全新世中期。

关键词 西藏台错 盐湖沉积 年代学 古气候

Characteristics and Chronology of Saline Sediments along Profile TT-1 of Dahyab Tso(Tai Cuo) in Tibet

WEI Lejun^{1,2)} ZHENG Mianping³⁾ MA Zhibang⁴⁾

1) Bureau of Water Management in Hainan, Haikou, Hainan 570203; 2) Hainan Normal College, Haikou, Hainan 571158;

3) Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037; 4) Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing, 100029

Abstract The saline lake Dahyab Tso(Tai Cuo) located in northern Tibetan Plateau was chosen as a study object. Although the environment around Dahyab Tso is very harsh, it has not suffered from human pollution. Field work was carried out in 2001, focusing mainly on the palaeoclimate and palaeoenvironment at the first stage of saline chemical sediments. Sampling was conducted on the 369 cm natural section(TT-1) in a high consistency, and the average thickness of each sample was limited to 2.36 cm. Based on field work and researches, it can be concluded that uranium-series chronology combined with the total-sample-dissolution isochron techniques is a relatively reliable and accurate method for the dating of saline lake sediments. This method has successfully solved the problem of errors caused by later stage carbon isotope fractional distillation. The reliable ages of the profile TT-1 are 32.6~4.5 ka B P, approximately from Late Pleistocene to Middle Holocene.

Key words Dahyab Tso(Tai Cuo) of Tibet saline sediments chronology palaeoclimate

2001年6月, 笔者在参加我国首次羌北无人区综合科学考察期间, 对台错的现代盐湖沉积环境、水化学特征和水生物资源状况进行了考察, 并从研究古气候古环境的角度出发, 着重调查了该湖区 I 级阶地(晚更新世晚期)的湖相化学沉积。现就有关台错 TT-1 剖面的沉积特征和年代学的研究进展做初步报道。

1 概况

台错位于西藏羌塘高原西部, 隶属阿里地区日

土县多玛乡, 地理坐标 80°42'E, 33°43'N。狮泉河-喀什公路从多玛乡经过, 有汽车便道可到达湖区(图 1)。

台错位于班公错-怒江缝合带羌塘地体一侧, 围岩为侏罗系的台地碳酸盐相建造, 其湖盆是构造断陷盆地中的次一级拗陷盆地, 边缘有第四纪冲积、风积砂砾石、粉砂粘土沉积出露, 并形成多级湖成阶地。盆内被第四纪现代风积、湖积粉砂粘土和含泥砂盐类沉积覆盖。虽为封闭内流盆地, 却无常年性地表河水流入, 主要靠大气降水和地下水补给。湖

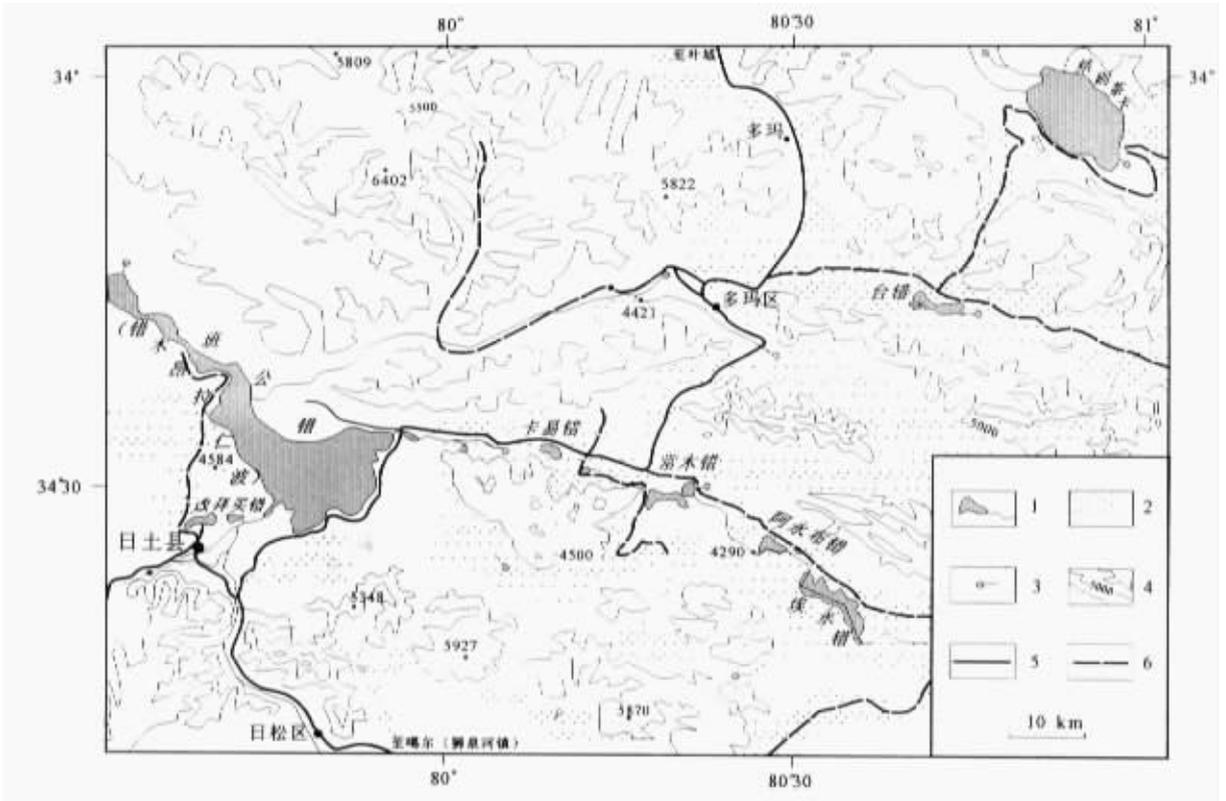


图 1 西藏台错位置简图

Fig. 1 Location of the Dahyab Tso (Taicuo), Tibet

1-湖泊和河流 2-古泛湖沉积 3-泉 4-等高线及海拔高度 5-主要公路 6-季节性公路

1-lake and river 2-palaeo-pan-lake sediments 3-spring 4-contour line and elevation a. s. l. 5-road 6-seasonal road

区气候寒冷而干旱,年平均气温在 0℃ 以下,年降水量约 50 mm,蒸发量却很强烈。台错,藏文写为 ,英文转写为 Mdah-yab Mtsho,音译 Dahyab Tso,即汉译的“达雅尔错”。

台错多风沙,风力达 4~5 级。常年的强大风力和季节性补给水对湖成阶地的长期风蚀和侵蚀,形成了独特的湖相沉积地层的“雅尔丹”地貌及残丘(图 2)。“达雅尔”一词是藏族人民对这一奇特的自然景观的形象描述和对此处自然景观所赋予的文化内涵和情感。

该湖现有水域面积 6.4 km² 湖面海拔 4 504 m。湖水 pH 值为 8.9 盐湖化学类型为碳酸盐型。

2 TT-1 剖面的沉积特征

对湖区西端的天然剖面进行了高密度取样。GPS 显示,台错 TT-1 剖面(图 3)位于东经 80°37',北纬 33°45',海拔高度 4 537±6 m。剖面顶部高出现代湖水水面约 15~25 m,揭露了 369 cm 的剖面

沉积特征,按其层序自上而下为(图 4):

① 0~1 cm 段:钙华碎片。厚 1~2 cm,大小通常为 3~8 cm。

② 1~105 cm 段:灰白色含生物碎屑的粘土碳酸盐。厚 104 cm,其中部分层位含螺壳化石。

③ 105~224 cm 段:香灰色含生物碎屑的粘土碳酸盐,碳酸盐呈粉晶。厚 119 cm,部分层位富含螺壳化石。

④ 224~249 cm 段:含生物碎屑的粘土碳酸盐,碳酸盐呈粉砂晶与细砂晶。厚 25 cm,部分层位含螺壳化石。

⑤ 249~303 cm 段:含生物碎屑的粘土碳酸盐,碳酸盐呈细砂晶与中砂晶。厚 54 cm,部分层位富含螺壳化石。

⑥ 303~309 cm 段:水草层,含粘土碳酸盐。厚 6 cm。

⑦ 309~339 cm 段:灰黑色的碳酸盐粘土。厚 30 cm,含螺壳化石。



图 2 台错湖相沉积地层的风蚀地貌景观

Fig. 2 Wind-eroded geomorphic scene of saline lake sedimentary layer from the Dahyab Tso , Tibet

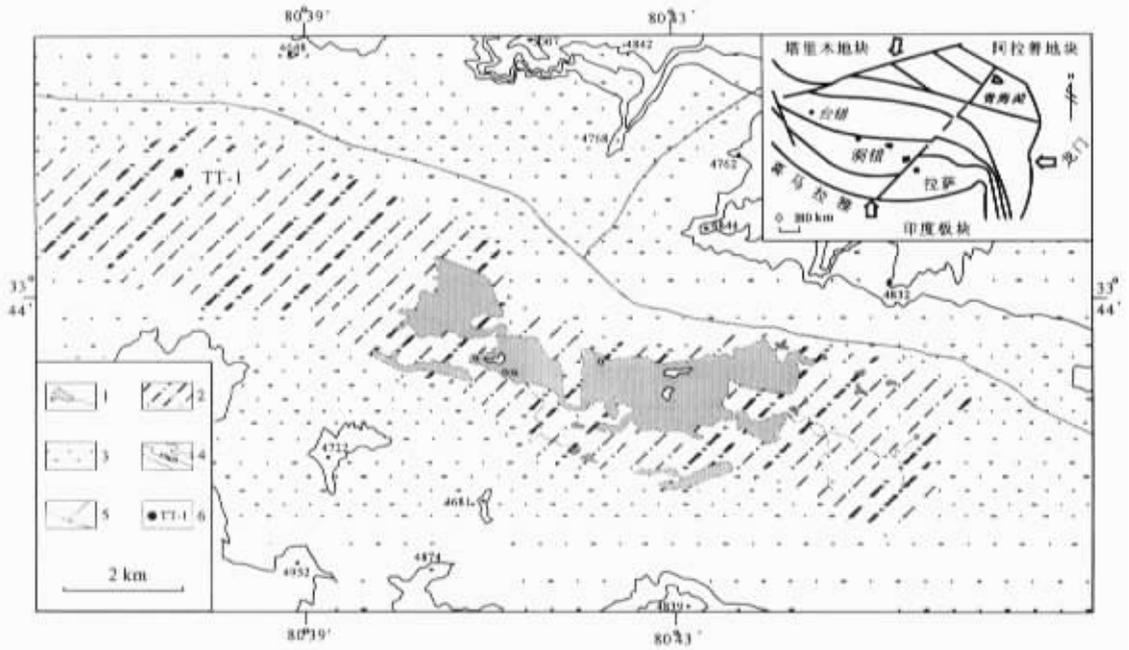


图 3 台错盐湖沉积及 TT-1 剖面位置图

Fig. 3 Salt deposits and location of profile TT-1 of the Dahyab Tso

1-湖水 2-盐湖沉积及风蚀地貌 3-古泛湖沉积 4-等高线及海拔高度 5-季节性公路 6-剖面位置

1-lake 2-salt deposits and wind-eroded dune 3-palaeo-pan-lake sediments 4-contour line and elevation a. s. l. ; 万方数据 5-seasonal road 6-profile location

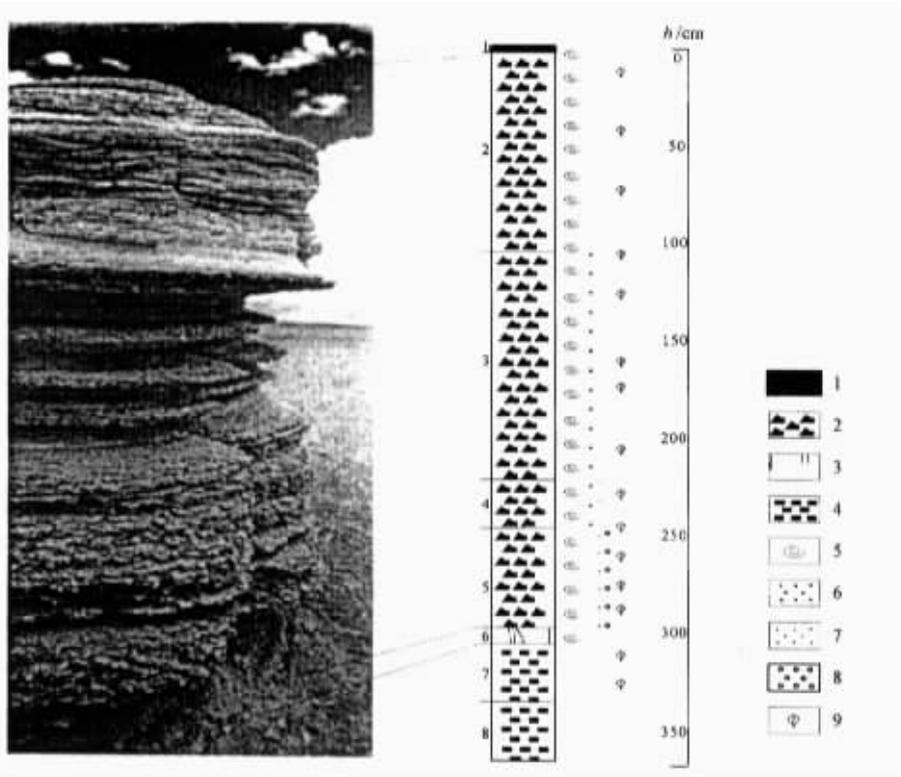


图4 台错 TT-1 剖面图

Fig.4 TT-1 profile of the Dahyab Tso

1-钙华碎片 2-粘土碳酸盐 3-水草层 4-碳酸盐粘土 5-生物碎屑 6-粉晶 7-细砂晶 8-中砂晶 9-螺壳化石

1-calcareous cement 2-clay-bearing carbonate 3-waterweeds 4-carbonate-bearing clay 5-bioclast 6-silt-crystalline grain ;
7-fine-crystalline grain 8-medium-crystalline grain 9-spiral shell

⑧ 339~369 cm段 浅褐色的碳酸盐粘土。揭露深度30 cm,未见底。

台错 TT-1 剖面共揭露了369 cm。以水草层为界,剖面上部的309 cm在地表之上,剖面下部的60 cm在地表之下。TT-1 剖面共取得连续样品156个,平均单个样品厚度为2.36 cm。

台错沉积剖面中,碳酸盐主要与石英、伊利石和绿泥石等蚀源碎屑矿物所组成的松散或固结较差的碳酸盐粘土层或粘土碳酸盐层。其中,碳酸盐矿物通常是隐晶质的微细颗粒,粒度多在 $5\ \mu\text{m}$ 以下,散布在碎屑矿物之间;有时则围绕某一碎屑矿物核心而呈球粒状的集合体产出,粒径多为1~5 mm。岩矿鉴定报告表明,样品中自生碳酸盐成分含量大致为15%~40%,最高达70%,呈泥晶或微晶状,与粘土矿物密切共生。陆源碎屑含量小于5%,一般为1%~2%,且以石英为主。

3 湖相化学沉积的年代学

本文的年龄测定,采用 ^{14}C 定年和铍系不平衡定年两种方法。

3.1 台错剖面的 ^{14}C 年代测定

放射性碳(^{14}C)定年样品,由中国地震局地质研究所新构造年代学开放实验室测定(表1)。液体闪烁仪型号 Quantulus-1220(LKB), ^{14}C 半衰期采用5568 a,起始计年为1950年。

湖相化学沉积的 ^{14}C 年代学认为(Polach,1975;黄麒等,1981,1985,1987):盐湖相化学沉积建造中的碳酸盐来源有2种,一是较古老的碎屑碳酸盐,这种碳酸盐中几乎不含 ^{14}C ,它主要分布在蒸发岩层(如石盐层)中、蒸发岩层的薄层粉砂粘土夹层中以及蒸发岩层与隔板层的界面中;二是自生的碳酸盐,即在蒸发过程中从湖水中直接结晶析出的,这类碳酸盐在形成时水体中 ^{14}C 与空气中 ^{14}C 达到动态平衡,主要分布在淤泥层和粘土层(的中部)。如果样品中以自生碳酸盐为主,那么所得年龄值较近似于其真实年龄。一般认为,在蒸发作用的早期阶段,在补给水带入的碎屑成分沉积的同时或稍晚,其中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 等碳酸盐组份便可首先达到过饱和而结晶沉淀出来,所以,碎屑层中的碳酸盐矿物主要是化学沉淀(自生)作用的产物(高章

洪,1987)。

通常认为,汇水区发育古老碳酸盐建造的湖泊,因为 ^{18}O 、 ^{13}C 和 ^{14}C 的含量由于碳酸盐的溶解和再结晶出现偏差,而不适于进行古气候的研究,Fontes等(1993)在研究西藏龙木错和松希错的稳定同位素和放射性碳的平衡时指出:在如同青藏高原这样四季分明的寒冷环境之中,侵蚀作用主要表现为冰劈作用和冰川磨蚀作用,因而只能把少量非常细小的古老碳酸盐颗粒带入湖相沉积,在这种情况下利用碳、氧同位素的资料进行研究不会造成很大影响,故而能够为古气候研究提供信息,这一点在西藏其他盐湖的古环境研究中也得到了证实(魏乐军,2000,2002)。另一方面,必须指出地下水在富含碳酸盐地层地区的活动,将由于溶解的碳酸盐中不含 ^{14}C ,而这种稀释作用造成 ^{14}C : ^{13}C 比值的降低,从而导致地下水活动地区有比较老的表面年龄和较年轻的底部年龄(Williams等,1993),即出现年龄“倒转”现象。

从台错 TT-1 剖面的 ^{14}C 年代数据表中可以看出,底部的3个数据,从上至下出现规律性的逐渐年轻化(表1序号5~7项),应当被认为是由于地下水活动而造成的典型例证。尽管如此, ^{14}C 测年数据表明,台错 TT-1 剖面的沉积建造,其形成时代不应早于晚更新世晚期。

3.2 TT-1 剖面的铀系年代测定

与此同时,铀系不平衡定年法取得技术上的突破和进展。近年来,铀系法测年的全溶样品的等时线技术,在青藏高原湖泊的年代学研究及其应用方面已有所突破,并取得了可喜的成果(马志邦,2002;赵希涛等,2002),在开展台错的年代学研究时,对铀系定年法进行了尝试。

表1 台错 TT-1 剖面 ^{14}C 年代数据表

Table 1 ^{14}C dating result of profile TT-1 of the Dahyab Tso

序号	实验室编号	野外编号	深度/cm	测年物质	距今年代 /a B P
1	CG-4303	TT013	38.4	碳酸盐	17 370 ± 140
2	CG-4304	TT040	122.55	碳酸盐	18 670 ± 200
3	CG-4305	TT061	188	碳酸盐	21 070 ± 245
4	CG-4306	TT125	306	水草	25 900 ± 245
5	CG-4306	TT125	306	碳酸盐	23 600 ± 245
6	CG-4307	TT126	310.94	碳酸盐	17 190 ± 280
7	CG-4308	TT142	341.9	碳酸盐	16 180 ± 150

此法可测年龄界限为 5 ~ 400 ka B P (Ivanovich,1982),对于 6 ~ 20 ka B P 年龄时段,U-Th 技术比 ^{14}C 有着更高的精度(Bard等,1990)。铀系定年方法有一个重要的基本假设:沉积物形成后处于化学上的封闭系统,除了放射性衰变产物以外,既没有失去任何同位素,也没有得到任何同位素。

然而,就碳酸盐样品而言,纯碳酸盐(如未发生过重结晶的海洋珊瑚礁、洞穴石笋等),可直接测定样品的 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 和 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射性比值,并计算年龄。而对于不纯碳酸盐样品(如断层作用形成的方解石脉,干旱-半干旱地区形成的钙质层,湖中沉淀的泥灰岩和地下水作用沉淀的石灰华等),往往是3种类型物质的混合物:①基质矿物颗粒或岩石碎片;②不同年龄的非碳酸盐自生物质,如粘土矿物与沸石等;③自生的碳酸钙。由于已引进了初始 ^{230}Th ,不符合用铀系法封闭模式测定年龄的基本要求。实践证明,用物理方法很难把碳酸盐相和非碳酸盐相完全分开。由于它们的年龄差别很大,因而分析全样不可能得到合理的年龄数据。

为了消除非碳酸盐碎屑组分对碳酸盐组分的污染,常用的方法是根据不同的假定前提并建立理论模式来校正污染的影响,也就是在化学处理样品时,以稀酸(小于 4 N HNO_3 或 HCl)淋取样品,分成稀酸可溶组分(碳酸盐相)和不可溶组分(碎屑相),以 ^{232}Th 为“示踪”,分别测定可溶组分和不可溶组分的 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$, $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 和 $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 比值来对污染进行校正(Szabo等,1982;Ku等,1979,1984;Herczeg等,1991)。这种方法的一个重要前提是用稀酸淋取样品时不发生 U 和 Th 同位素的分馏。然而,在实际操作中往往难于把握,有可能把分布在矿物颗粒边界、解理缝和微破裂隙中的铀先溶解出来,或者根据齐拉-却尔曼斯效应,子体核素先于母体核素被淋滤出来。也就是说,稀酸淋取法很难保证 ^{230}Th 、 ^{234}U 和 ^{238}U 按其相应年龄比值等比例地并同时地被溶解出来。这势必造成铀和钍同位素分馏,而哪一次淋滤发生了分馏,哪一次未发生分馏,以及每一次分馏程度之大小,均无法得到验证。这将直接影响测试年龄数据的可靠性。为此,研究中采用了全溶样品的等时线技术(Luo等,1991),即一种测定不纯碳酸盐样品的校正技术,简述如下:

先按矿物的粒度(或密度)将全岩分成若干子样品,并对每个子样品进行全溶。然后,分别测试其 U 和 Th 的同位素比值,并以 $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 对 $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$

作图,所得直线的斜率就是碳酸盐的 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比值。同样,在比值 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 对 $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 图中,从直线的斜率可以得到 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 比值,该比值代表去掉碎屑污染的碳酸盐的同位素比值。将其代入纯碳酸盐年龄计算公式即可得出样品的年龄值或在年龄等时图上直接读出年龄值。可以证明全溶样品的等时线方法与稀酸淋滤法有相同的数学关系,但前者完全避免了同位素的分馏问题。

台错 TT-1 剖面的铀系年代数据测定,运用了全溶样品的等时线技术,由本文作者之一马志邦测试完成。就 8 个样品进行了 10 次测定,共得到 10 项年龄数据(表 2),其中通过对 TT013(序号为 2、3)和 TT 061(序号为 5、6)的重复测定,检验出两组数据的结果均在其误差范围之内,显示出很好的再现性和可信性。

3.3 台错 TT-1 剖面的年代学研究

依据不同测年方法,得到 TT-1 剖面的年龄数据共两组计 17 项(表 1 和表 2),通过综合分析,得出剖面的年龄曲线(图 5)。

表 2 台错 TT-1 剖面铀系年代数据表

Table 2 U-series dating result of profile TT-1 of Dahyab Tso

序号	测年物质	野外编号	深度/cm	距今年代/ka B P
1	碳酸盐	TT004	10.35	5200 ± 800
2	碳酸盐	TT013	38.4	6900 ± 500
3	碳酸盐	TT013	38.4	7400 ± 500
4	碳酸盐	TT040	122.55	10200 ± 1200
5	碳酸盐	TT061	188	12600 ± 800
6	碳酸盐	TT061	188	12100 ± 1000
7	碳酸盐	TT125	306	22700 ± 1200
8	碳酸盐	TT126	310.94	25400 ± 2600
9	碳酸盐	TT142	341.9	20100 ± 2200
10	碳酸盐	TT156	369	32600 ± 2400

^{14}C 和铀系法对水草层(剖面层序第 6 段: 303~309 cm)不同物质(水草和碳酸盐)的测年数据是十分相近的。水草层 22.7~25.9 ka B P 的实测数据,比较客观地反映了该层的真实年龄,并通过不同方法和不同测年物质得到了检验。

台错 TT-1 剖面以水草层为界,剖面上部的 309 cm 在地表之上,剖面下部的 60 cm 在地表之下。这就造成了降水产生的 C 同位素分馏作用的两种情形:一是在地表之上,剖面上部,降水在下渗过程中,

不断淋滤上面的 ^{14}C ,使之被携带到下面并富集起来,这种富集作用造成下面 $^{14}\text{C}:^{13}\text{C}$ 比值的升高,同时,台错常年性的强大风力不断侵蚀掉剖面顶面的沉积,使得 ^{14}C 的富集作用得到加强;另一方面,在剖面下部,地表之下,降水形成的地表径流,把流动和下渗过程中不断淋滤出的 ^{14}C ,携带到汇水地区进行再平衡,使得这种稀释作用造成 $^{14}\text{C}:^{13}\text{C}$ 比值的降低。从而在 ^{14}C 测年时导致较老的上部年龄和较年轻的底部年龄(图 5)。

运用了全溶样品等时线技术的铀系年代数据,避免了同位素分馏所造成的影响,其年龄曲线一方面印证了特殊情况下 ^{14}C 法测定盐湖碳酸盐样品出现年龄的“倒转”现象,另一方面,也给出了更为可信的剖面年龄。

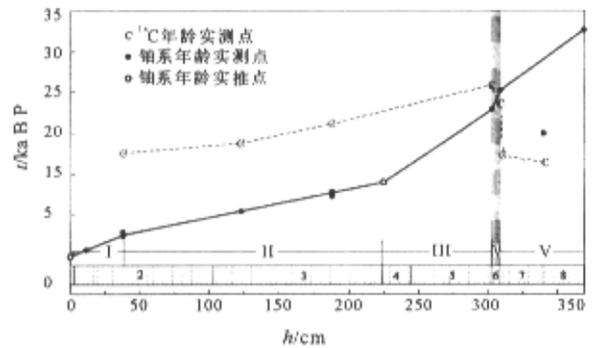


图 5 台错 TT-1 剖面测年曲线图

Fig. 5 Dating diagram of profile TT-1 of Dahyab Tso, Tibet

以水草层的多项年龄数据为基础,在分析了引起 ^{14}C 法测年数据误差的原因之后,依据铀系年代实测数据和对剖面沉积岩性及矿物组合特征的综合研究,厘定出 TT-1 剖面的年龄曲线。该年龄曲线由 I~V 5 条直线组成(图 5),其线性方程表述如下:

年龄曲线 I:当剖面深度为 0~38.4 cm 时,年龄 I 为 $0.0677 h + 4.5$,沉积速率为 0.0677 cm/a 。

年龄曲线 II:当深度为 38.4~224 cm 时,年龄 II 为 $0.0368 h + 5.685$,沉积速率为 0.0368 cm/a 。

年龄曲线 III:当深度为 224~303 cm 时,年龄 III 为 $0.1114 h - 11.05$,沉积速率为 0.1114 cm/a 。

年龄曲线 IV:深度为 303~309 cm 时,年龄 IV 为 22.7~25.2。

年龄曲线 V:深度为 309~369 cm 时,年龄 V 为 $0.124 h - 13.16$,沉积速率为 0.124 cm/a 。

需要说明的是,年龄曲线 I,由 3 项实测数据厘

定而成,并外推到剖面顶部 0 cm 处,得到剖面顶端的推测年龄为 4.5 ka B P;年龄曲线 II,由 5 项实测数据厘定而成,并根据沉积岩性,向下外推到剖面层序第 3 段的底部,即 224 cm 处;年龄曲线 IV,为水草层,层段顶部(303 cm 处)年龄 22.7 ka B P,底部(309 cm 处)年龄 25.2 ka B P;年龄曲线 V,由 3 项实测数据,其中有 1 项数据因偏小不合理而未使用,这是 10 项铀系年代数据中唯一没有被引用的数据,本段还得到剖面底端 369 cm 处的实测年龄为 32.6 ka B P。

根据青藏高原及周边地区部分湖泊(盐湖)的沉积速率(表 3),与台错的沉积速率进行了对比,认为根据上述年龄曲线和相关沉积厚度换算出的 4 项沉积速率均在合理的范围内,其中在碳酸盐沉积形成的主要阶段(38.4~224 cm),沉积速率为 0.368 mm/a,比较真实地反映了高原小型盐湖在其演化过程中处于盐湖早期阶段(自生碳酸盐析出)时的沉积情形。

表 3 部分现代湖泊的沉积速率对比表
Table 3 Comparison of sedimentation rate of some modern lakes

湖名	沉积速率/mm·a ⁻¹	数据来源
青海湖	0.33~0.41	张彭熹等,1994
	1.1	吴瑞金,1993
岱海	2~2.1	吴瑞金,1993
盐海子	0.75	刘振敏等,1996
巴里坤盐湖	0.14~0.21	袁宝印等,1998
希门错	0.53~0.68	王苏民等,1997
扎布耶盐湖	0.2~0.87	齐文等,1995
洞错	0.1~0.42	魏乐军等,2000
台错	0.68~1.24	魏乐军等,2003

4 沉积样品精确测年的重要意义

准确定年对古气候与古环境研究的重要性不言而喻。特别是对西藏台错来说,更凸显其重要意义。

(1)台错盐湖沉积样品的准确测年,对恢复和重建台错地区古气候与古环境的精确记录的重要性勿容置疑。

(2)就台错 TT-1 剖面湖相沉积物中的硅藻研究,所发现的 2 个硅藻新化石种(李家英等,2003):西藏胸隔藻属(*Mastogloia* Thwaites)新种 *Mastogloia tibetica* Li et Wei 和西藏桥穹藻属(*Cymbel-*

la Agardh)新种 *Cymbella taicuoensis* Li et Zheng, 本文年代学研究可为推定其生活年代提供可靠依据。而准确确定其生活年代和生存环境,对今后进一步研究其湖泊沉积环境的古生态学和探讨古气候与古环境的有效代用指标具有重要意义。

参 考 文 献

高章洪. 1987. 柴达木盆地某些盐湖碎屑沉积层中碳酸盐的初步研究. 见:中国科学院中澳第四纪合作研究组. 中国-澳大利亚第四纪学术讨论会议文集. 北京: 科学出版社, 142~152.

黄麒, 蔡碧琴, 余俊青. 1981. 盐湖年龄的测定——青藏高原几个盐湖¹⁴C 年龄及其沉积旋回. 科学通报, 26(1): 66~70.

黄麒, Bowler J M, Polach H A 等. 1985. 察尔汗和弗罗姆盐湖沉积物中碳同位素的研究. 海洋与湖沼, 16(2): 81~91.

黄麒, 蔡碧琴. 1987. 察尔汗盐湖沉积物年代学的初步研究. 见: 中国科学院中澳第四纪合作研究组. 中国-澳大利亚第四纪学术讨论会议文集. 北京: 科学出版社, 106~114.

刘振敏, 陈延成, 王鉴津等. 1996. 内蒙古盐海子盐湖 Y_{a02} 孔元素聚散与古气候变化. 化工矿产地质, 18(2): 101~108.

李家英, 魏乐军, 郑绵平. 2003. 西藏西北部胸隔藻属 *Mastogloia* 中的一个新化石种. 地球学报, 24(4): 349~352.

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

齐文, 郑绵平. 1995. 西藏扎布耶湖 ZK91-2 钻孔沉积特征与气候环境演化. 湖泊科学(7): 133~140.

魏乐军, 郑绵平, 蔡克勤. 2000. 西藏台错发现全新世第一次冷期的证据. 地学前缘, 7(2): 508.

魏乐军, 郑绵平, 刘喜方等. 2002. 西藏洞错硼砂芒硝层的发现及其古气候意义. 地质学报, 76(2): 262~271.

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

吴瑞金. 1993. 湖泊沉积物的碰化率、频率碰化率及其古气候意义——以青海海、岱海近代沉积为例. 湖泊科学(5): 128~135.

王苏民, 薛滨, 夏威岚. 1997. 希门错 2000 多年来气候变化的湖泊记录. 第四纪研究(1): 62~69.

张彭熹, 张保珍, 钱桂敏等. 1994. 青海湖全新世以来古环境参数的研究. 第四纪研究(3): 225~238.

References

Bard E, Hamelin B, Fairbanks R G. 1990. U-Th ages obtained by mass spectrometry in corals from Baebados: p sea level during the past 130 000 years. Nature, 346: 456~458.

Fontes J Ch, Melieres F, Gibert E et al. 1993. Stable isotope and radiocarbon balances of two Tibetan lakes (Sumxi Co, Longmu Co) from 13 000 a B P. Quaternary Science Review, 12: 875~887.

Gao Zhanghong. 1987. Preliminary study on carbonates in clastic sedimentary layers of some salt lakes in Qaidam Basin. In Sino-Aussie Quaternary cooperation study group. Papers of Sino-Aussie Quaternary Science Symposium. Beijing: Science Press, 142~152 (in

- Chinese with English abstract).
- Huang Qi , Cai Biqin , Yu Junqing. 1981. The ^{14}C age and cycle of sedimentation of some saline lakes on the Qinghai-Xizang Plateau. Chinese Science Bulletin 26(1):66~70(in Chinese with English abstract).
- Huang Qi , Bowler J M , Polach H A et al. 1985. Carbon isotopic studies of the sediments in lakes Qarhan and Frome. Oceanologia et Limnologia Sinica , 16(2):81~91(in Chinese with English abstract).
- Huang Qi , Cai Biqin. 1987. Geochronological study on the sediments in Qarhan Lake. In Sino-Aussie Quaternary cooperation study group. Papers of Sino-Aussie Quaternary Science Symposium. Beijing : Science Press ,106~114(in Chinese with English abstract).
- Herczeg A L , Chapman A. 1991. Uranium-series dating of lake and dune deposits in southeastern Australia : a reconnaissance. Palaeogeography , Palaeoclimatology , Palaeoecology , 84 :285~298.
- Luo S D , Ku T L. 1991. U-series isochron dating : A generalized method employing total-sample dissolution. Geochimica et Cosmochimica Acta , 55 :555~564.
- Ivanovich M. 1982. Uranium series disequilibria applications in geochronology. In Uranium Series Disequilibrium : Application to Environmental Problems. Ivanovich , M. , Harmon , R. S.(eds). Clarendon Press , Oxford , 56~106.
- Ku T L , Liang Z C. 1984. The dating of impure carbonates with decay - series isotopes. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research , 223 :563~571.
- Ku T L , Bull W E , Freeman S T et al. 1979. $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dating of Pedogenic carbonate in gravelly deserts of Vidal Vally , southwestern California. Bulletin geological Society of America , 90 :1063~1073.
- Liu Zhenmin , Chen Yancheng , Wang Jianjin et al. 1996. Constraints of Paleoclimatic fluctuation on cenralization and decentralization of saline elements with an example from borehole YA02 in Yanhaizi Saline Lake in Inner Monolia. Geology of Chemical Minerals , 18 (2):101~108(in Chinese with English abstract).
- Li Jiaying , Wei Lejun , Zheng Mianping. 2003. A new fossil species of the diatom *Mastogloia thwaites* from Northwestern Tibet. Acta Geoscientia Sinica , 24(4):349~352(in Chinese with English abstract).
- Polach H A. 1975. The Proceedings of a symposium on scientific method of research in the study of ancient Chinese bronzes and Southeast Asian metal and other archaeological artifacts. Australian National University 255~298.
- Qi Wen , Zheng Mianping. 1995. Sedimentary characteristics of ZK91-2 core and climate-environment evolution of Zabuye Lake , Tibet Plateau. Journal of Lake Sciences (7):133~140(in Chinese with English abstract).
- Wei Lejun , Zheng Mianping , Liu Xifang et al. 2002. Discovery of borax-bearing mirabilite beds in Dong Co , Northern Tibet , and Its palaeoclimatic significance. Acta Geological Sinica , 76(3):271~282.
- Wei Lejun , Zheng Mianping. 2000. Holceng Saline sedimentary record in Tibetan Dong Co(lake) and its significance on palaeoclimate. Earth Science Frontiers , 7(Sup.) :378.
- Ma Zhibang , Zhao Xitao , Zhu Dagang et al. 2002. U-series chronology of lacustrine deposits from the Nam Co Lake , North Tibet Plateau. Acta Geoscientia Sinica , 23(4):311~316(in Chinese with English abstract).
- Wu Ruijin. 1993. Magnetic susceptibility and frequency dependent susceptibility of lake sediments and their paleoclimatic implication — The case of recent sediments of Qinghai Lake and Daihai Lake. Journal of Lake Sciences (5):128~135(in Chinese with English abstract).
- Wang Sumin , Xue Bin , Xia Weilan. 1997. Lake redord of climatic change in the past 2000 years of ximen Cu(Lake). Quaternary Sciences (1):62~69(in Chinese with English abstract).
- Zhao Xitao , Zhu Dagang , Wu Zhonghai et al. 2002. The development of Nam Co Lake in Tibet since late pleistocene. Acta Geoscientia Sinica , 23(4):329~334(in Chinese with English abstract).
- Szabo B J , Roshlt J N. 1982. Surficial continental sediments. In Uranium Series Disequilibrium : Application to Environmental Problems. Ivanovich , M. , Harmon , R. S.(eds). Clarendon Press , Oxford , 246~267.
- Zhang Pengxi , Zhang Baozhen , Qian Guimin et al. 1994. Study of paleoclimatic parameter of Qinghai Lake since Holocene. Quaternary Sciences (3), 225~238(in Chinese with English abstract).