

察尔汗和弗罗姆盐湖沉积物中碳同位素的研究*

黄 麒

(中国科学院盐湖研究所, 西宁)

J. M. 波勒 H. A. 朴拉克 J. 海德

(澳大利亚国立大学)

提 要

本文论述了中国察尔汗盐湖和澳大利亚弗罗姆盐湖沉积物中碳同位素的分布及其碳酸盐的来源。在综合分析有机碳、无机碳的放射性碳断代和 ^{130}Th 断代数据及其地质资料的基础上讨论了成盐期的年龄。察尔汗盐湖从距今25000年到9000年间沉积了大量的氯化物,为该湖的主要成盐期;弗罗姆盐湖从距今15000年以来沉积硫酸盐和氯化物。两盐湖虽分别位于南、北半球,但其气候的演变基本相同。

柴达木盆地位于中国西部,东经 $90^{\circ}16'$ — $98^{\circ}20'$,北纬 $36^{\circ}00'$ — $39^{\circ}10'$,是青藏高原最大的内陆断陷盆地。察尔汗盐湖位于柴达木盆地中东部,海拔2766m,东西长达168km,南北宽达40km,盐壳覆盖面积约 5860 km^2 ,是世界上最大的现代内陆干盐湖之一。地表为一望无际的褐色盐壳,在干盐湖的边缘分布有涩聂湖、别勒湖、霍布逊湖、达布逊湖、团结湖、协作湖和东陵湖等卤水湖。这些卤水湖可能是在察尔汗盐湖干枯以后气候又转入相对温湿,继而在干盐湖上形成的新盐湖。晚更新世以来,湖区沉积了一套以碎屑岩和蒸发盐间互成层的盐湖沉积物。盐类沉积的最大厚度可达75m。从下至上可分为 S_1 , S_2 , S_3 和 S_4 四层石盐。石盐层中除大量的氯化物外,常见有粉砂、碳酸盐和硫酸盐;石盐层之间的隔层为含碳酸盐、硫酸盐和石盐的粉砂和粘土层^[1]。

从1973年以来作者等人先后测定了该盐湖中 CK_{439} , CK_{826} , $CK_{1/80}$, $CK_{5/80}$, CK_{1308} 和 CK_{2022} 钻孔样品的 ^{14}C 断代。其中部分数据已发表在文献[2]中。1981年中国科学院盐湖研究所和澳大利亚国立大学合作在该区打了 $CK_{1/81}$ 和 $CK_{2/81}$ 钻孔。钻孔位置见图1。

弗罗姆(Frome)盐湖位于澳大利亚埃尔盆地的东南部,即东经 $139^{\circ}30'$ — $140^{\circ}00'$,南纬 $30^{\circ}15'$ — $31^{\circ}00'$ 之间,南北长约100km,东西宽45km,湖区面积约 2700 km^2 。湖中最低部位为海拔2m。弗罗姆盐湖原为埃尔盐湖的一部分,由于气候变得干旱,湖水缩小而被分割为埃尔和弗罗姆等盐湖。从晚更新世末期湖水渐渐浓缩,成为现今的季节性干盐

* 中国科学院盐湖研究所一室和澳大利亚国立大学生物地貌系为该项工作提供了样品,盐湖所蔡碧琴、余俊青、濮泓、邢玉成、常红等同志参加了测定碳同位素的工作,国立大学 ^{14}C 实验室的S. Robertson先生和N. Bel小姐等给了大力支持,盐湖所胡金泉同志协助清绘图件,在此一并致谢。

收稿日期:1982年5月27日。

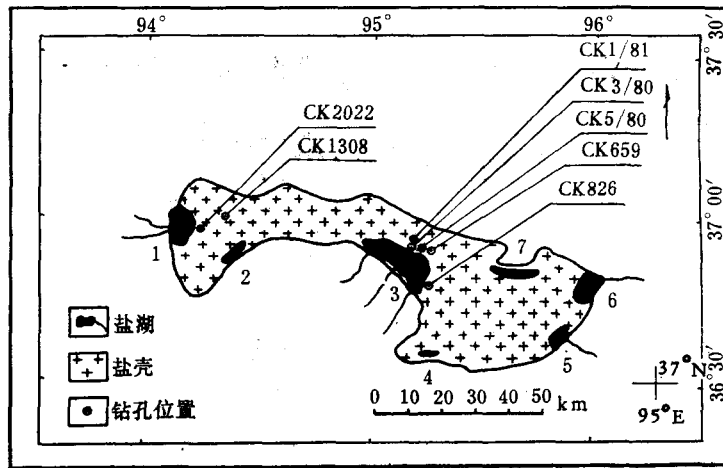


图1 察尔汗盐湖钻孔位置图

1. 涅衰湖; 2. 别勒湖; 3. 达布逊湖; 4. 团结湖; 5. 南霍布逊湖; 6. 北霍布逊湖; 7. 协作湖

湖。

湖表层多为黄色粉砂粘土覆盖, 中部为黄色石盐层, 石盐层面积约为湖区的十分之一。湖南部分布有大小不等的长条状的风成小岛, 岛上沉积物为石膏、石盐和粉砂粘土。湖中钻孔剖面从下至上为淤泥层、粉砂粘土层、含石膏粉砂粘土层和含石膏石盐层^[7]。

澳大利亚国立大学曾测定了小岛沉积物的¹⁴C断代^[4]。1981年该大学在湖区打了LF_{81/1}钻孔; 1982年国立大学与中国科学院盐湖研究所和地球化学研究所合作在该湖中部打了LF_{82/1-3} (与LF_{81/1}相距约10m), LF_{82/4-5}, LF_{82/7}和LF_{82/8}钻孔, 其钻孔位置见图2。

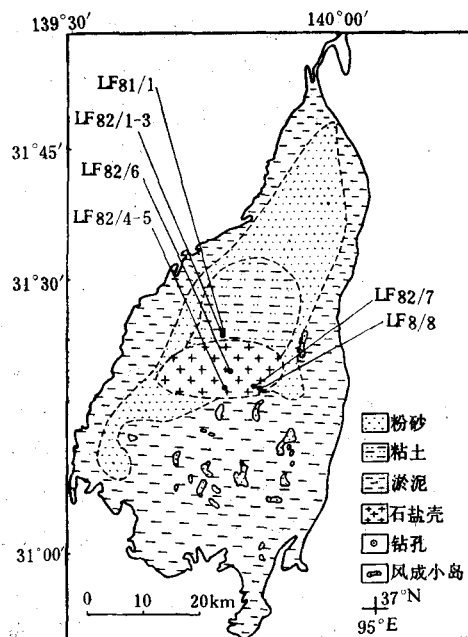


图2 弗罗姆盐湖钻孔位置图

表 1 弗罗姆和察尔汗盐湖沉积物的 ¹⁴C 年龄

室内编号	样品埋深	钻孔编号	样品名称	¹⁴ C 年龄 (B. P.)
ISL-120	13.38—13.78	CK ₂₀₂₂	含盐粘土中碳酸盐	9170±100
ISL-115	21.19—21.39	CK ₂₀₂₂	同上	15700±340
ISL-116	34.52—34.87	CK ₂₀₂₂	同上	20600±410
ANU-3158	34.02—34.23	CK ₂₀₂₂	含盐粉砂粘土中碳酸盐	35000±3300
ISL-122	65.89—66.42	CK ₂₀₂₂	含石膏粘土中碳酸盐	24400±510
ISL-85	67.67—68.05	CK ₂₀₂₂	同上	28400±850
ISL-86	68.14—68.54	CK ₂₀₂₂	同上	24800±470
ISL-124	84.50—85.00	CK ₂₀₂₂	黄色粘土中碳酸盐	26400±700
ISL-125	96.36—95.76	CK ₂₀₂₂	同上	32000±2000
ANU-3159	80.47—80.82	CK ₂₀₂₂	黑色淤泥中碳酸盐	40100±4770
ISL-68	2.50—2.90	CK ₁₃₀₈	含盐黑色淤泥中碳酸盐	9310±310
ISL-73	14.89—15.19	CK ₁₃₀₈	含盐粘土中碳酸盐	14900±100
ISL-74	25.88—26.28	CK ₁₃₀₈	含盐石膏粘土中碳酸盐	18100±500
ISL-72	27.02—27.42	CK ₁₃₀₈	含盐黑色淤泥中碳酸盐	21200±210
ISL-78	44.17—44.52	CK ₁₃₀₈	暗灰色粘土中碳酸盐	29700±500
	1.30—1.70	CK ₈₂₆	含盐黑色淤泥中碳酸盐	8850±210
	5.66—6.04	CK ₈₂₆	含盐粘土中碳酸盐	13000±400
	7.72—8.22	CK ₈₂₆	含盐黑色淤泥中碳酸盐	21200±1050
	14.15—14.65	CK ₈₂₆	含盐黄色粉砂粘土中碳酸盐	33800±3000
	16.30—16.70	CK ₆₅₉	含盐粘土中碳酸盐	27600±1100
ISL-180	13.80—14.10	CK _{5/80}	含盐粉砂淤泥中碳酸盐	21000±2080
ISL-181	17.00—17.23	CK _{5/80}	含盐淤泥中碳酸盐	21800±530
ISL-203	20.00—20.25	CK _{5/80}	含盐粉砂中碳酸盐	BKG*
ISL-204	24.13—24.52	CK _{5/80}	含盐粘土中碳酸盐	29700±840
ISL-210	24.54—24.90	CK _{5/80}	同上	31600±1200
ISL-41	3.35—3.65	S ₄	黄色粘土中的碳酸盐	18300±570
ISL-42	4.22—4.57	S ₄	同上	18300±530
ISL-44	2.80—3.50	S ₄	同上	18100±990
ISL-40	2.80—3.50	S ₄	同上	18600±540
ISL-179	9.68—9.78	CK _{5/80}	含盐粉砂粘土中的碳酸盐	21200±1300
ISL-182	12.37—12.61	CK _{5/80}	同上	28900±2100
ISL-206	14.13—14.33	CK _{5/80}	含盐粉砂中的碳酸盐	BKG
ANU-2855	12.65—12.75	CK _{5/80}	同上	35400±2400
ISL-229	4.5	CK _{1/81}	同上	BKG
ISL-231	8.5	CK _{1/81}	含盐粉砂淤泥中的碳酸盐	21100±450
ISL-232	11.0	CK _{1/81}	同上	22400±620
ISL-233	11.7	CK _{1/81}	同上	23000±1300
ISL-234	17.8	CK _{1/81}	同上	31000±1100
ANU-2975	0.0—0.1	CK _{1/81}	含盐黄色粉砂中的碳酸盐	24400±520
ANU-3044	6.0	CK _{1/81}	同上	27300±960
ANU-2980	8.5	CK _{1/81}	同上	33900±1400
ANU-2981	11.3	CK _{1/81}	同上	32100±1200
ANU-2974	17.3	CK _{1/81}	同上	27400±1900
ANU-3045	17.7	CK _{1/81}	同上	BKG
ANU-3048	19.7	CK _{1/81}	同上	45000±3500
ANU-2884	25.5	CK _{1/81}	同上	BKG

续表 1

室内编号	样品埋深	钻孔编号	样品名称	¹⁴ C 年龄 (B. P.)
ANU-2978	28.0	CK _{1/81}	含盐黄色粉砂中的碳酸盐	BKG
ANU-2983	30.0	CK _{1/81}	同上	BKG
ANU-2977	32.5	CK _{1/81}	同上	40600±3500
ANU-2976	36.5	CK _{1/81}	同上	46900±14000
ANU-2979	45.5	CK _{1/81}	含盐黄色粘土中碳酸盐	44800±6400
ANU-3046	5.0	CK _{2/81}	灰绿色砂土中的碳酸盐	BKG
ISL-228	5.2	CK _{2/81}	同上	BKG
ISL-218	0.0—0.1	协作湖表层	泥砂粘土中的碳酸盐	16600±180
ZK-1405	0.05—0.25	诺木洪	黄色粘土中贝壳	28650±670
ISL-313	0.5—0.6	诺木洪	黑色粘土中贝壳	35600±1300
ZK-1406	1.0—1.2	同上	同上	35060±940
ISL-315	1.7—1.8	同上	同上	38600±680
ISL-317	0.38—0.48	同上	黄色粘土中贝壳	31200±830
ISL-273	19.8—20.30	CK _{1/81}	含盐粉砂粘土中有机质	16800±450
ISL-269	45.4—45.90	CK _{1/81}	含盐粘土中有机质	24400±420
ISL-271	46.4—46.9	CK _{1/81}	同上	25100±510
ISL-270	47.0—47.6	CK _{1/81}	同上	26600±480
ANU-2926	0.2—0.3	LF ₈₁	黄色粘土中的碳酸盐	11200±140
ANU-2927	0.8—1.05	LF ₈₁	同上	19800±300
ANU-2928	1.19—1.32	LF ₈₁	黑色淤泥中的碳酸盐	18400±300
ANU-2929	1.60—1.90	LF ₈₁	同上	16030±260
ANU-2930	2.60—2.80	LF ₈₁	同上	17900±250
ANU-2931	3.35—3.55	LF ₈₁	同上	22800±400
ANU-2932	4.35—4.55	LF ₈₁	黄色粘土中的碳酸盐	26300±610
ANU-2933	5.15—5.45	LF ₈₁	黄色粘土中的碳酸盐	20100±330
ANU-3147	0.2—0.3	LF _{82/1-3}	黄色粘土中有机质	3290±160
ANU-3148	0.8—0.9	LF _{82/1-3}	同上	11650±580
ANU-3149	1.24—1.40	LF _{82/1-3}	黑色淤泥中有机质	14610±410
ANU-3150	1.65—1.80	LF _{82/1-3}	同上	14170±310
ANU-3151	2.25—2.40	LF _{82/1-3}	同上	15530±350
ANU-3152	3.10—3.25	LF _{82/1-3}	同上	17920±560
ANU-3153	3.60—3.77	LF _{82/1-3}	黄色粘土中的有机质	24790±2960
ANU-3156	1.83—2.13	LF _{82/7}	黑色淤泥中有机质	14530±290
ANU-3155	0.44—0.64	LF _{82/8}	黄色粘土中有机质	6040±210
ANU-3157	1.11—1.41	LF _{82/8}	黑色淤泥中有机质	13990±280

* BKG 为本底值。

1981 至 1982 年作者在澳大利亚国立大学 ¹⁴C 实验室测定了 CK_{1/81}, CK_{2/81}, LF_{81/1}, LF_{82/1-3}, LF_{82/7} 和 LF_{82/8} 钻孔沉积物中碳同位素。

实验方法与测定结果

对于土壤中的碳酸盐样品首先经过预处理,然后在真空系统中加酸分解成二氧化碳;对于土壤中有机质样品,首先除去外来有机质、碳酸盐、硫化物和氯化物,然后放入燃烧管内在超纯氧气流中燃烧成二氧化碳。测定纯二氧化碳在标准状态下的体积,取少量 CO₂

表 2 弗罗姆和察尔汗盐湖沉积物中 $\delta^{13}\text{C}$ 数据

室内编号	样品埋深(m)	钻孔编号	样品名称	$\delta^{13}\text{C}$
ANU-2855	12.65—12.75	CK _{3,80}	含盐粉砂碳酸盐	0.0±2.0%
ANU-4044	6.0	CK _{1,81}	含盐黄色粉砂粘土碳酸盐	-0.8±0.4%
ANU-2974	17.3	CK _{1,81}	同 上	0.8±0.4%
ANU-3048	19.7	CK _{1,81}	同 上	0.8±0.4%
ANU-2978	28.0	CK _{1,81}	同 上	2.6±0.4%
ANU-2983	30.0	CK _{1,81}	同 上	5.7±0.3%
ANU-2977	32.5	CK _{1,81}	同 上	1.9±0.3%
ANU-2976	36.5	CK _{1,81}	同 上	2.3±0.4%
ANU-2980	8.5	CK _{1,81}	含盐粉砂粘土中有机碳	-32.4±0.3%
ANU-2981	11.3	CK _{1,81}	同 上	-31.5±0.3%
B-74-1	6.06—6.80	CK ₂₀₂₂	含粘土石盐层中碳酸盐	2.9±0.3%
B-74-2	12.00—12.30	CK ₂₀₂₂	含盐粘土中碳酸盐	2.3±0.3%
B-74-3	21.19—22.39	CK ₂₀₂₂	同 上	1.1±0.3%
B-74-4	34.52—34.87	CK ₂₀₂₂	含盐粉砂粘土中碳酸盐	1.4±0.3%
B-74-5	46.50—46.80	CK ₂₀₂₂	同 上	1.8±0.3%
B-74-91	64.09—64.89	CK ₂₀₂₂	同 上	3.7±0.3%
B-74-94	70.15—70.40	CK ₂₀₂₂	黄色粘土中碳酸盐	0.0±0.3%
B-74-98	74.64—75.10	CK ₂₀₂₂	同 上	0.5±0.3%
B-74-102	80.47—80.82	CK ₂₀₂₂	同 上	-0.8±0.3%
B-74-107	94.56—95.06	CK ₂₀₂₂	同 上	1.2±0.3%
B-74-108	96.81—97.00	CK ₂₀₂₂	同 上	2.9±0.3%
ANU-2926	0.20—0.30	LF ₈₁	黄色粘土中碳酸盐	-3.0±0.4%
ANU-2927	0.80—1.05	LF ₈₁	同 上	-2.8±0.4%
ANU-2928	1.19—1.32	LF ₈₁	含盐黑色淤泥中碳酸盐	-2.6±0.4%
ANU-2929	1.60—1.90	LF ₈₁	同 上	-1.4±0.4%
ANU-2930	2.60—2.80	LF ₈₁	同 上	-2.0±0.4%
ANU-2931	3.35—3.55	LF ₈₁	同 上	-2.6±0.4%
ANU-2932	4.35—4.55	LF ₈₁	黄色粘土中碳酸盐	-1.4±0.4%
ANU-2933	5.15—5.45	LF ₈₁	同 上	-5.9±0.4%

测定 $\delta^{13}\text{C}$; 取 10 升 CO_2 与 16g 金属锂在高温下反应形成碳化锂。水解碳化锂制备的乙炔经过纯化然后在催化剂作用下环化聚合成苯。应用液体闪烁计数器测定 ^{14}C 的活度。中国科学院盐湖研究所 ^{14}C 实验室的测定方法详见文献 [3]; 澳大利亚国立大学 ^{14}C 实验室的方法见文献 [10, 11]。换算 ^{14}C 断代采用 ^{14}C 的半衰期为 5730 ± 40 年, 距今年代 (B. P.) 以 1950 年为起点; 所示误差为样品、本底与现代碳的测定标准偏差以 1σ 表示。测定结果见表 1 和表 2。

讨 论

1. 察尔汗盐湖沉积物中碳同位素的分布及其成盐期年龄

作者等人测定的察尔汗盐湖钻孔中 60 余个 ^{14}C 断代数据, 将这些数据点在综合柱状剖面图 3 中, 其石盐层中碳酸盐的 ^{14}C 断代数据点相当分散。这些数据可分为三类: 第一类是较年轻的数据, 基本上分布在图中 A 线附近; 第二类是本底值, 即大于 45000 年; 第三

类数据界于一和二之间,分布在图中B线附近。引起该盐湖石盐层中 ^{14}C 断代数据分散的主要原因是碳酸盐的来源不同。沉积物中的碳酸盐按其来源可分为以下三种。

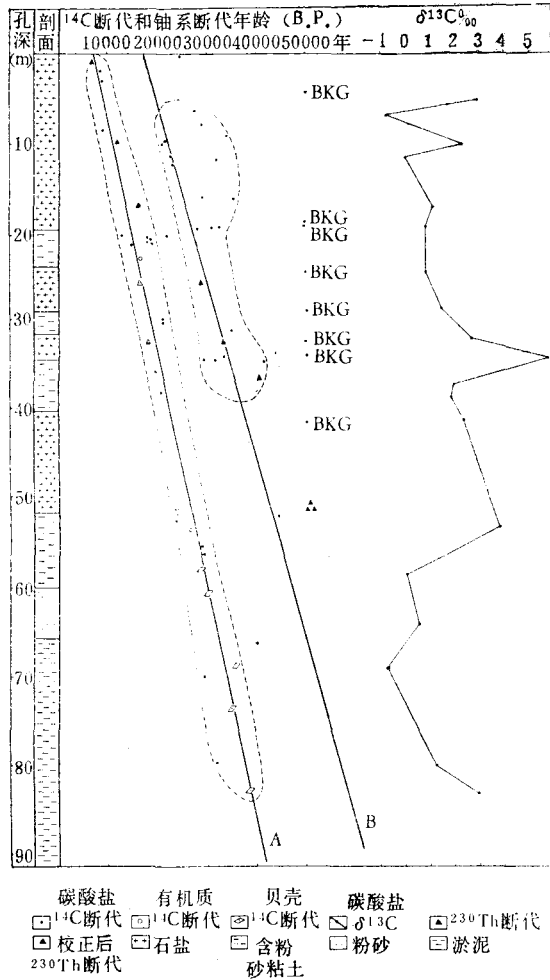
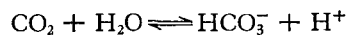


图3 察尔汗盐湖中碳同位素分布

近于中性,这种浓卤水对碳酸盐的溶解度极低,故碎屑碳酸盐未经溶解而直接进入沉积物中。这种碳酸盐不含 ^{14}C ,其结果使测定的 ^{14}C 断代偏老。安大略湖的沉积物中碳酸盐因受“死”碳的污染^[8],使距今500年左右的样品测定的 ^{14}C 断代为2000年以上(图4),偏老1500年左右,其样品中“死”碳含量约73%。察尔汗CK_{1/81}孔表层粉砂中碳酸盐的 ^{14}C 断代为 $24,400 \pm 520$ 年;协作湖表层粉砂粘土中碳酸盐的 ^{14}C 断代为 $16,600 \pm 180$ 年。如以图3中A线外推至表层为9000年为准,则CK_{1/81}表层样偏老15,400年,这与协作湖表层样 ^{14}C 断代相近似。如果按偏老15,000—16,000年校正图3中石盐层的 ^{14}C 断代数据,则原为本底值或接近本底值的数据将落入A线附近。

(3) 次生碳酸盐:沉积物形成之后由于地下水迁入的 CO_2 和 CO_3^{2-} 与沉积物中含钙物质作用,形成次生碳酸盐。大气中 CO_2 (现代碳)溶解于地下水中:



(1) 自生碳酸盐:雨水、地表径流和地下水带入湖中的 CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} 与来自大气中的 CO_2 发生交换,使水中碳同位素与大气 CO_2 中碳同位素达到动态平衡。这种碳酸根与湖水中钙镁离子形成碳酸盐与其他物质一同沉积于湖底。如果从此碳酸盐处于封闭体系,不再与外界的碳同位素发生交换作用,则这种碳酸盐的 ^{14}C 断代能代表沉积形成的年龄。图3A线附近的碳酸盐和图6中部分碳酸盐为自生碳酸盐。

(2) 碎屑碳酸盐:晚更新世末期以来,察尔汗地区气候干寒,风沙巨大,古老的碎屑碳酸盐(又叫“死”碳)与其他碎屑物一同搬运到湖中。当时湖水已进入饱和与过饱和的浓卤阶段,且其酸碱度

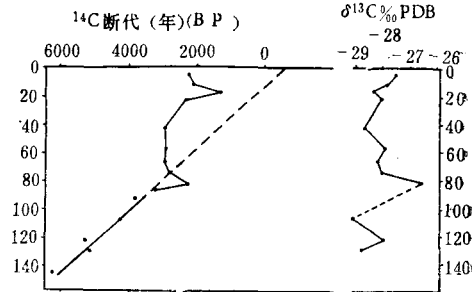
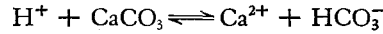


图4 安大略湖碳酸盐中碳同位素的分布^[8]

这种地下水与围岩中碳酸盐发生下列反应:



这种地下水进入沉积物中,与含钙化合物发生反应形成新的碳酸盐(即次生碳酸盐)而沉积下来。这种碳酸盐中的碳如果以“死”碳为主,则沉积物的 ^{14}C 断代偏老;如果以“现代碳”为主,则 ^{14}C 断代比真值偏轻。对于较老的沉积物,这种“现代碳”的污染是很大的,例如100,000年的碳酸盐样品只要进入1%的“现代碳”,则测定的 ^{14}C 断代为37,000年,偏轻63,000年。“死”碳和“现代碳”的污染程度见表3。由于沉积物中的碳酸盐易受“死”碳和“现代碳”污染,致使测定的 ^{14}C 断代年龄不能代表沉积物的真实年龄,往往只能作为相对年龄应用。

表3 “现代碳”和“死”碳对各种年代样品的污染程度^[1,2]

样品的真实年代	“现代碳”污染样品后的近似年代			
	1%	5%	20%	50%
5000	4950	4650	3700	2100
10,000	9800	9000	6800	3600
20,000	19,100	16,500	10,600	5000
30,000	27,200	21,000	12,200	5400

样品的真实年代	“死”碳对样品污染后的近似年代			
	5%	10%	20%	50%
500	900	1300	2200	6000
5000	5400	5800	6700	10,500
10,000	10,400	10,800	11,700	15,500
20,000	20,400	20,800	21,700	25,500

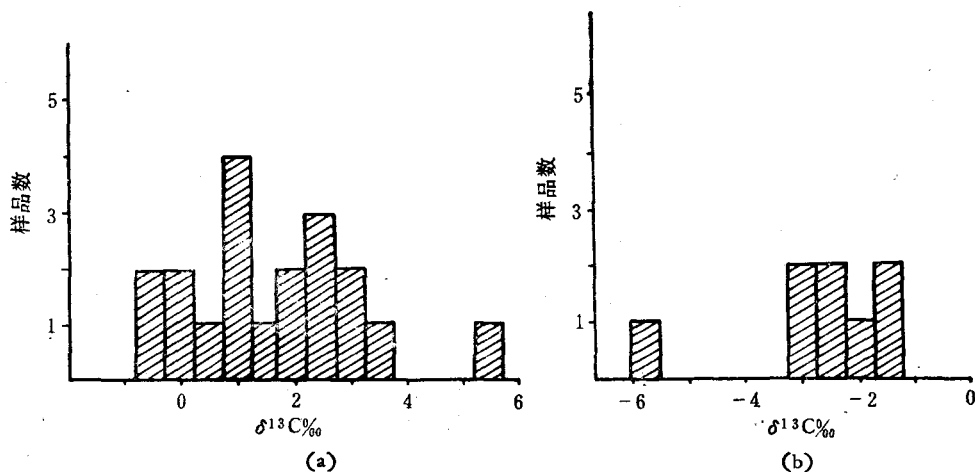


图5 察尔汗和弗罗姆盐湖沉积物中碳酸盐中 $\delta^{13}\text{C}$ 的分布

a. 察尔汗盐湖; b. 弗罗姆盐湖

CK_{1/81}和CK₂₀₂₂钻孔沉积物中 $\delta^{13}\text{C}$ 的分布见图3和图5A。CK_{1/81}石盐层中 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值为1.9‰;CK₂₀₂₂石盐层中 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值2.2‰,与CK_{1/81}值一致。CK₂₀₂₂钻孔中石盐层底部的粘土层和淤泥层中 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值为0.76‰,比石盐层中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值低三倍左

右;表明了石盐层中的碳酸盐和粘土层与淤泥层中的碳酸盐的来源和形成条件不同。

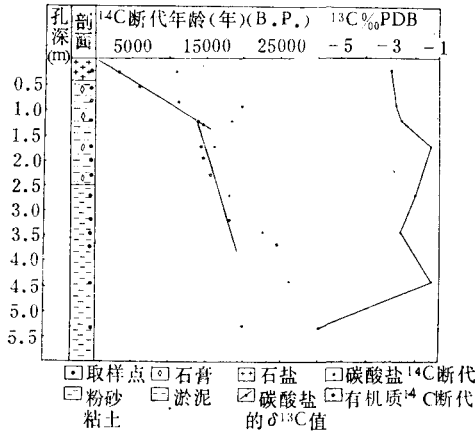


图6 弗罗姆盐湖沉积物中碳同位素的分布
(图中 $^{13}\text{C}\text{‰PDB}$ 应为 $\delta^{13}\text{C}\text{‰PDB}$)

2. 弗罗姆盐湖沉积物中碳同位素的分布及其成盐期年龄

弗罗姆盐湖沉积物中碳酸盐和有机质的 ^{14}C 断代数据和 $\delta^{13}\text{C}$ 值点见图6。这些 ^{14}C 断代数据除个别偏离较大外,一般线性关系较好,而且同一样品中有机质与碳酸盐的 ^{14}C 断代数据在误差范围内相符合。这些样品中的碳酸盐以自生碳酸盐为主。个别样品(例如 ANU-2927)中含有较多的“死碳”,致使测定的 ^{14}C 断代偏老;而 ANU-2933 号样可能含有较多的次生碳酸盐,测定数据偏轻。

生物中的碳同位素通常在生物死亡以前已同大气中 CO_2 中碳同位素达到了动态平衡,生物死亡之后埋入沉积物中一般不受“死”碳和“现代碳”的污染,所以这种生物死亡以后形成的有机质中的 ^{14}C 断代能代表沉积物的真实年龄,它是测定湖泊沉积物和土壤 ^{14}C 断代年龄的较好物质。但是,当生物腐烂、分解而形成各种有机化合物时,碳同位素发生了分馏,在许多情况下,腐黑物(HM)具有较高的 ^{14}C 水平;不同种类的腐殖酸具有不同的 ^{14}C 水平。Costin 等^[6]测定同一样品中碳化木的 ^{14}C 断代为 30,920 年;氢氧化钠可溶部分腐殖酸的 ^{14}C 断代为 32,050 年;而氢氧化钠不溶的腐黑物为 18,540 年,腐黑物较腐殖酸年轻 1 万多年。Kunihiks 等^[9]分别测定了腐黑物、第一次(HA_1)和第二次(HA_2)萃取的腐殖酸的 ^{14}C 断代,发现在同一样品中这三种物质的断代数据相差较大。例如 GaK-6451 号样品中:HM 的 ^{14}C 断代为 6750 年; HA_1 的 ^{14}C 断代为 3170 年;而 HA_2 的 ^{14}C 断代为 10,310 年。Polack^[13]的测定结果也表明各部分有机质中 ^{14}C 断代差别较大。测定总的有机质的 ^{14}C 断代可能其结果较接近真实年龄。有趣的是,如果将 Costin^[6]的结果按如下换算;将 A 和 D 两部分混合;B 和 C 混合,然后换算混合物的 ^{14}C 断代,则木质 ^{14}C 断代(A+D)与沉积物中有机质的 ^{14}C 断代(B+C)在一个标准偏差内相符合(见表4),表明测定沉积物中总的有机物的 ^{14}C 断代较分别测定腐黑物和腐殖酸的 ^{14}C 断代为佳;前者能代表沉积物的真实年龄,而后者偏差较大。

作者采用燃烧法将沉积物中有机质燃烧成二氧化碳(其碳的总回收率达 80% 以上),然后测定总的有机质的 ^{14}C 断代,其数据的线性关系较好,详见图 3, 6。

综上所述,察尔汗盐湖沉积物中碳酸盐的来源主要有两种;石盐层中以碎屑碳酸盐为主;石盐层隔板层和石盐层底部粘土层中以自生碳酸盐为主。图3中A线附近的数据点包括有机质和部分碳酸盐的 ^{14}C 断代及其石盐层中铀系断代数据。这些数据与察尔汗东部相当层位的贝壳“堤”中贝壳的 ^{14}C 断代数据是一致的。根据所得年龄数据和有关地质资料综合分析,表明A线附近的数据能代表沉积物形成的年龄。A线上推到地表为 9000 年,下部与 S_1 底板交点为 25,000 年,即察尔汗盐湖的成盐期为距今 25,000 年开始,可能到距今 9000 年左右结束。

表 4 有机质中各部分的 ^{14}C 断代数据^[6]

样品号	样品成份	^{14}C 断代 (B. P.)	
		原数据	组合数据
143 A	碳化木头	$30,920^{+2030}_{-1620}$	143A ₁ + 143D = 23,517±1358
143 D	除去碳化木头后之残余土壤	19,730+600	
143 B	土壤中 NaOH 可溶解之有机酸	$32,050^{+1650}_{-1370}$	143B + 143C = 22,733±1239
143 C	土壤中 NaOH 不溶解之腐黑物	18,540±890	
146 D	除去碳化木头后的残余土壤	19,980±370	146A + 146D = 24,238±1414
146 A	碳化木头	$33,700^{+2200}_{-1730}$	
146 B	土壤中 NaOH 可溶解的有机酸	24,960±580	146B + 146C = 25,157±580
146 C	土壤中 NaOH 不溶解的腐黑物	25,360±580	

弗罗姆盐湖沉积物中碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 的分布见图 5b 和图 6。其平均值为 -2.3% ，比察尔汗盐湖沉积物中碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值低。

LF_{82/1} 和 LF_{82/1-3} 钻孔揭露的沉积物为淤泥层和粉砂粘土层。LF_{82/7} 钻孔从下至上为：淤泥层，粉砂粘土层，3m 到 1.5 m 为含石膏的粘土层，其中 2 m 处 ^{14}C 断代为 $14,120 \pm 285$ 年；1.5 m 至表层为含石膏的石盐层。LF_{82/8} 钻孔剖面中，1.8 m 以下为粘土层，1.8 m 至 0.5m 为含石膏的粘土层，其中 1.3 m 处 ^{14}C 断代为 $13,590 \pm 270$ 年；0.5m 至表层为含石膏的石盐层，其中 0.6m 处的 ^{14}C 断代为 5870 ± 210 年。

3. 距今四万年以来察尔汗与弗罗姆盐湖区的古气候变化

察尔汗盐湖从距今 40,000 年到 25,000 年间，湖相沉积物为淤泥和含盐粉砂粘土层。东部湖岸线在诺木洪附近，那里沉积了一贝壳层。由于后期的隆起和表层被淋滤和冲刷，现成为长几千米，宽几十米，厚数米的贝壳“堤”。贝壳富集层，从下至上为黑色粘土、黄色粉砂、粘土和粉砂层。这层贝壳的 ^{14}C 断代年龄，从下至上为 39,000 年到 29,000 年。表明当时气候温湿，湖水较淡，且水位变化不大，有利于贝壳的形成。弗罗姆湖的湖岸线保存较好，可见两级以上的湖岸阶地。在湖西岸的最后一级阶地上发现有古石器，据考古资料证明：在距今约 40,000 至 30,000 年，这里有古人类活动。表明当时弗罗姆湖水较淡，气候温湿，有利于人类活动。30,000 年以后气候逐步变得干旱，湖水浓缩成为碱水湖，不利于古人类生活。

察尔汗地区从 30,000 年以来气候逐步变得干寒，湖水浓缩，在距今 30,000 年至 25,000 年沉积物为含盐粉砂粘土层。随着气候干寒，蒸发量大于降水量，湖水进一步浓缩，成为盐湖阶段。从距今 25,000 年左右开始，在湖中、西部沉积了大量的石盐，最大厚度可达 20 余米。从 22,000 年到 15,000 年左右，间互沉积了两层石盐层和三层含盐粉砂粘土层，这两

层石盐层中含泥砂较多,可达 10% 以上;而隔层中含石盐 10—20% 左右;表明这段时间气候虽有温湿和干寒的小旋迴,但变化幅度不大。从 15,000 年以后,气候干寒,湖水浓缩,沉积了最后一层石盐;最大厚度达 20 余米。由于表层盐壳被雨水淋滤而溶解,较难确定察尔汗盐湖干枯的时期,如以图 3 中 A 线外推至地表为准,则可能是在 9000 年左右干枯的。

弗罗姆盐湖,从距今约 30,000 年以来,气候逐渐变得干旱,湖水不断浓缩,到距今约 15,000 年开始沉积含石膏的粘土层;在距今约 6000 年以后开始沉积含石膏的石盐层。现在的弗罗姆盐湖雨季时湖水水位可达半米左右,而旱季时湖中可行汽车,成为一典型的季节性干盐湖。

由上述可见从距今 40,000 年以来,察尔汗和弗罗姆湖区,其气候由温湿到干旱(寒)的变化,虽有差异,但总体上是一致的。

结 语

1. 对于湖泊沉积物和土壤的 ^{14}C 断代,选择什么物质是非常重要的。一般说来沉积物中碳酸盐易受“死”碳和“现代碳”的污染,其测定的 ^{14}C 断代数据往往偏老或偏轻;而沉积物中有机质不易受这种污染,所得 ^{14}C 断代数据较碳酸盐可靠。采用有机质测定 ^{14}C 断代时,测定总的有机物质的 ^{14}C 断代较测定个别的腐黑物或腐殖酸的 ^{14}C 断代更为接近真实年龄。无论采用何种物质做断代样品,分析沉积环境对样品的污染情况,将各种年龄数据和地质资料进行综合分析是非常必要的,否则会导致错误的结论。

2. 察尔汗和弗罗姆盐湖沉积物中碳酸盐受“现代碳”和“死”碳的污染是错综复杂、互相交混的。从现有资料查明,察尔汗盐湖沉积物中碳酸盐受“现代碳”的污染较轻,而石盐层中碳酸盐受古老碎屑碳酸盐的污染较严重,造成所测定的 ^{14}C 断代偏老。综合各种年龄数据和地质资料,认为图 3 中 A 线附近的数据点接近于真实年龄。弗罗姆盐湖中碳酸盐除个别样品受“死”碳和“现代碳”的污染外,其余的样品与有机质的 ^{14}C 断代数据基本一致,它们能代表沉积物形成的真实年龄。

3. 察尔汗与弗罗姆盐湖区,距今 40,000 年以来的气候变化大体一致;即从 40,000 年到 30,000 年以温湿气候为主;30,000 年以后逐步变得干寒,距今 25,000 年左右,察尔汗盐湖进入了主要成盐期;22,000 年至 15,000 年间出现几次温湿-干寒的小旋迴;15,000 年以后在察尔汗沉积了最后一层石盐;而在弗罗姆盐湖出现了石膏沉积,直到 6,000 年以后弗罗姆盐湖才进入石盐沉积阶段。

参 考 文 献

- [1] 陈克造、唐渊、黄麒等, 1984。察尔汗盐湖沉积的基本特征及其古气候演化。中国科学(在排版中)。
- [2] 黄麒、蔡碧琴等, 1980。青藏高原几个盐湖的 ^{14}C 年龄及其沉积旋迴。科学通报 25(21): 990—994。
- [3] 黄麒、蔡碧琴、余俊青等, 1981。液体闪烁计数法测定 ^{14}C 年龄。海洋与湖沼 12(1): 41—48。
- [4] Bowler, J. M., 1976. Aridity in Australia: Age, Origins and Expression in aeolian landforms and sediments. *Earth Science Reviews*. 12(2): 279—310.
- [5] Callen, R. A., 1981. Frome, South Australia. Sheet SH/54-10 International index. 1—7.
- [6] Costin, A. B. and H. A. Pölach, 1969. Dating soil organic matter. *Atomic Energy in Australia*

- 12(4): 13—17.
- [7] Draper, J. J. and A. B. Fensen, 1976. The geochemistry of Lake Frome, A playa lake in south Australia, *BMR. J. Austr. Geol. Geophys* 1(1): 83—104.
- [8] Fritz, P. and J. Ch. Fontes, 1980. Handbook of environmental isotope geochemistry. Elsevier Scientific Publishing Company (New York). 1: 492—500.
- [9] Kunihiro Kigoshi, Nobuko Suzuki and Mari Shiraki, 1981. Soil dating by fractional extraction of humic acid. *Radiocarbon* 23(3): 853—857.
- [10] Pölach, H. A., J. Golson and J. F. Lovering, 1967. ANU radiocarbon date list 1. *Radiocarbon* 9(1): 15—27.
- [11] Pölach, H. A., J. Gower and J. Fraser, 1972. Synthesis of high purity benzene for Radiocarbon Dating by Liquid Scintillation method. In "Proceedings of the 8th International conference on Radiocarbon Dating." Lower Hutt, New Zealand. 1: 145—157.
- [12] Pölach, H. A., 1975. The proceedings of a symposium on scientific methods of research in the study of ancient Chinese bronzes and Southeast Asian metal and other archaeological artifacts. Australian National University. pp. 255—298.
- [13] Pölach, H. A. and G. Singh, 1980. Contemporary ^{14}C levels and their significance of sedimentary history of bega Swamp, New South Wales. *Radiocarbon* 22(2): 398—409.

CARBON ISOTOPIC STUDIES OF THE SEDIMENTS IN LAKES QARHAN AND FROME

Huang Qi

(Qinghai Institute of Salt Lake, Xining)

J. M. Bowler H. A. Polach and J. Head

(Australian National University)

ABSTRACT

In this paper the carbon isotopic distribution in lakes Qarhan and Frome sediments is presented. A comprehensive ^{14}C dating of organic and inorganic carbon, ^{230}Th dating and geological data showed that there existed a period of mineralization in Lakes Qarhan and Frome. During the Late Pliocene period, the palaeo-climate became arid and cold rapidly, and the brines in the lakes were further concentrated on a larger scale by solar evaporation. As a result, Lakes Qarhan and Frome were soon brought to a stage of evolving into saline lakes. From 25,000 to 9000 a. B. P., sulfates and large amounts of chlorides were deposited in Lake Qarhan. At that time a major mineralization occurred within the area, but mineralism is much later in Lake Frome. Sulfates precipitated between 15000 and 6000 a. B. P. and chlorides deposited from 6000 a. B. P. to data. The changes of palaeo-climate were more or less alike in the areas of Qarhan and Frome.