

柴达木盆地察尔汗盐湖沉积特征及其 古气候演化的初步研究*

陈克造

(中国科学院盐湖研究所, 西宁)

J. M. Bowler

(Australian National University)

摘 要

本文论述了察尔汗盐湖沉积的特征: (1) 盐类沉积发育在碎屑岩系中, 碳酸盐、硫酸盐沉积都不发育; (2) 沉积分异不充分。石盐层几乎都不同程度地含泥砂、碳酸盐和石膏等; 碎屑沉积物也都掺杂膏、盐, 从而形成一套化学岩和碎屑岩的混杂沉积; (3) 含盐岩系中有马兰黄土堆积。古气候演化: 大量蒸发岩开始出现于距今约 2400—2500 年, 在此之前, 有过一段相对湿润期; 距今约 16000—9000 年, 气候最为干旱, 出现钾盐沉积并成为干盐湖; 距今约 9000 年, 又出现相对湿润期。

自五十年代始, 先后有青海地质局、青海石油管理局、科学院盐湖研究所、北京地质学院以及其它有关生产、科研和高等院校等单位, 对察尔汗盐湖作了大量工作, 获得丰富的资料和成果。1981 年中澳合作开展研究盐湖以来, 我们同澳大利亚国立大学 Bowler 博士、Macumber 博士、科学院地质研究所袁宝印、地球化学研究所安芷生、王俊达又先后短期考察了察尔汗盐湖、小柴旦盐湖、一里坪盐湖和昆特依盐湖, 并在前三个湖区打了钻孔。本文是对察尔汗盐湖 CK1/81 钻孔的初步研究结果。

一、湖区概况

柴达木盆地是青藏高原最大的山间盆地, 面积 12 万 km^2 , 平均海拔约 2800m。盆地周围的昆仑山、祁连山、阿尔金山海拔均在 4500—5000m 以上, 山势陡峻, 急转直下, 与盆地呈断裂接触。在这个广大的盆地里, 分布着许多盐湖和干涸的盐滩, 它们具有“高山深盆”^[1] 的成盐特点。盐湖与风积物孪生, 在盐湖外围往往被戈壁、沙漠、沙垄、风蚀地形所环绕 (图 1), 成为相当典型的荒漠景观。

察尔汗盐湖是盆地中的一个 大盐湖, 它处于盆地第四纪沉积中心, 也是当前盆地内最低注

本文 1984 年 2 月 24 日收到, 1984 年 6 月 6 日收到修改稿。

* 本文作者还有: 唐渊、李秉校、徐昶、黄麒、高章洪、蔡碧琴和冉隆德同志。

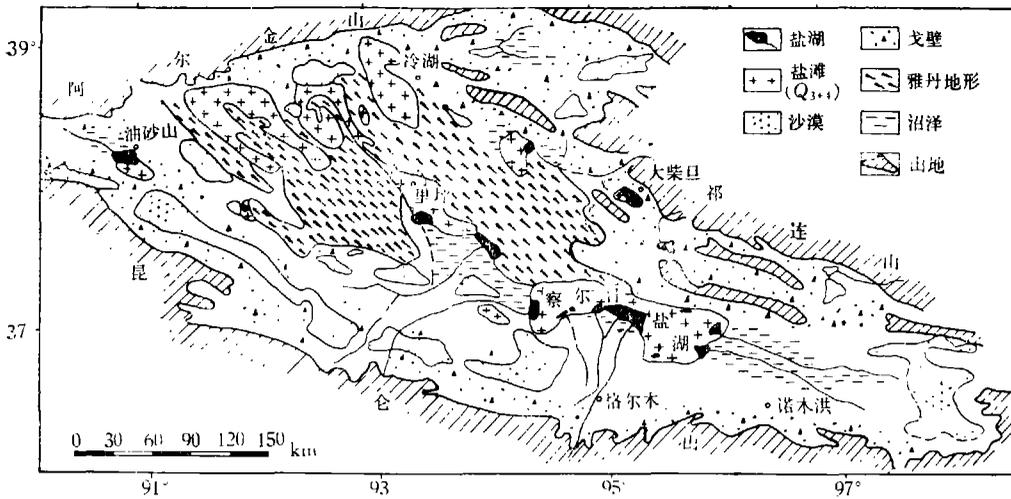


图1 柴达木盆地盐湖与沙漠分布图

(海拔 2675m) 的汇水中心。区内气候干旱, 年降水量 24—40mm, 年蒸发量 3250mm, 蒸发量大于降水量 100 倍左右, 是世界上罕见的干旱地区之一。注入湖区的常年性河流有格尔木河、柴达木河、素稜果勒河、乌图美仁河等。格尔木河是其中较大的河流, 年平均流量为 $22\text{m}^3/\text{s}$ 。由于盆地内具有适宜的成盐条件, 从晚更新世晚期以来, 在察尔汗湖区形成东西长 168km, 南北宽 20—40km, 面积约为 5800km^2 的盐类沉积; 含盐地层最厚 73m, 一般厚度为 40m 左右。

察尔汗盐湖, 实际上是一个大型干盐湖。盐层裸露地表, 成为浩瀚的盐滩。只是在盐滩周边有河水补给或潜水溢出的地段, 生存着 9 个面积不大的水湖(图 2)。这些湖, 不是察尔汗古湖萎缩过程中的残留湖, 而是察尔汗盐湖一度干涸之后(距今约 9000 年左右), 在盐滩边缘发育起来的新生湖^[2]。新沉积物与新盐沉积超覆于干盐滩之上, 形成新湖与古湖之间明显的波状溶蚀面。西达布逊湖, 便是大约在 1976 年以后由于淡水补给量一度增大, 溶解大片干涸的老盐滩, 并切断通往别勒滩的盐滩上的公路(图版 I, 1), 形成的一个常年性新生湖。西达布逊湖的出现, 可视为干盐滩周边其它水湖形成方式和现实写照。

湖水(含 K 1—1.4%, Mg 4—5%) 和晶间卤水(含 K 0.5—1%, Mg 4—5%) 皆富含

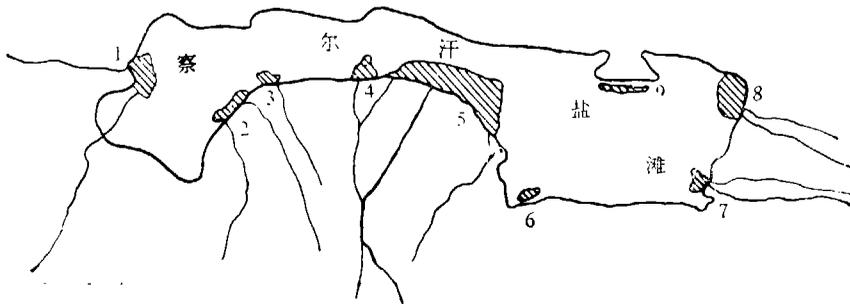


图2 察尔汗盐滩边缘盐湖分布图

- (1. 涩聂湖; 2. 大别勒湖; 3. 小别勒湖; 4. 西达布逊湖; 5. 达布逊湖; 6. 团结湖; 7. 南霍布逊湖; 8. 北霍布逊湖; 9. 协作湖)

钾、镁等元素,成为具有工业价值的钾镁盐液体矿床。

二、盐湖沉积的基本特征

察尔汗湖以盐类沉积为主,占剖面总厚度的 70% 左右。剖面中可划分出四个石盐层,其间隔以碎屑沉积,两者相间出现,形成四个比较清晰的沉积旋迴。每个旋迴以碎屑沉积开始,以出现较厚的盐类沉积而告终。在每个旋迴的石盐层中,还常常夹有很多个 5—25mm 的砂或淤泥薄层,组成许多个厚度不等的沉积韵律。

1. 化学沉积

(1) **石膏沉积** 石膏是盐湖沉积物中常见矿物,察尔汗含盐系中几乎都掺杂有含量不等的石膏沉积,但没有形成较厚的石膏层。根据显微镜下观察统计,石盐层中的石膏含量一般为 1—5%,而在盐层中的碎屑物薄夹层,石膏含量略高一些(8—10%);两个石盐层之间,即两个沉积旋迴之间的碎屑沉积隔层,虽然代表较长时间的环境变动(相对淡化),其石膏含量也不过 14% 左右,只是在湖区开始出现大套石盐之前,在邻近石盐层下部的粘土沉积物中,石膏含量(50%)比较高。类似这层沉积,在察尔汗盐湖区普遍存在,其厚度大者约 3m 左右,薄者仅数十厘米。经过这样单薄的硫酸盐沉积之后,察尔汗盐湖便开始出现大量石盐沉积,这表明察尔汗盐湖没有长期经历硫酸盐沉积阶段,便很快地进入了氯化物沉积。硫酸盐沉积不发育,是察尔汗盐湖沉积特点之一。

石膏颗粒都很细小,产出的方式基本上可分两种。一种呈微细层状,厚度仅有 2—3mm 左右,它们或在石盐层中间互出现,或在粘土和粘土粉砂层里出现——形成很多黑白相间的微细层理(图版 I, 2),反映了沉积环境波动频繁的浅水沉积特征;另一种则呈分散状,充填在石盐晶体之间,在不少的石盐晶体中有石膏包裹体。

石膏形态可分为糖粒状(图版 I, 3)、板柱状(图版 I, 4)和龟片状(图版 I, 5)三种。这些不同形态的石膏,晶体都很细小,多数为 0.05—2mm,有少数龟片状的可达 2—3mm,极少数为 5mm。经对不同形态的石膏统计,发现在石盐层中以龟片状为主,糖粒状及板柱状很少;与此相反,粒状、柱状则多见于碎屑沉积的隔层中,即每个沉积旋迴的开始阶段;有的隔层则三种形态兼而有之,可以称为混合型。结合沉积剖面的其它资料,表明龟片状为干旱气候条件下的产物,粒、柱状为相对湿润气候条件下的产物。

(2) **碳酸盐沉积** 碳酸盐,它与石膏含量相似,也没有发现纯碳酸盐单层,只是在剖面底部出现相当泥灰岩的沉积层。不过,在沉积剖面中几乎都含有不同数量的碳酸盐,特别是方解石相当普遍地存在(图 7)。碳酸盐含量范围波动在 2—13% (占整个样品的 1—11%)。粘土层中碳酸盐含量一般高于粘土粉砂层,与粘土含量的变化基本上同步。应该指出,即使在石盐层中,也常常出现含碳酸盐的碎屑薄层,说明其水介质条件并不是很稳定的,沉积分异作用是不充分的。

碳酸盐的矿物种属,均为钙镁碳酸盐,有方解石、文石、白云石和菱镁矿四种。方解石含镁量多介于 4—8mol% $MgCO_3$ 之间,属低镁方解石。即反映了方解石沉积时水介质中镁含量相对较低。这些碳酸盐矿物,颗粒多小于 0.005mm,常以碎屑沉积的胶结物出现;呈隐晶质细粒结构,未见有生物“骨骼”结构或机械沉积作用的典型结构及构造。所以,这些碳酸盐不是由生物的或机械的沉积作用,而主要是由化学沉积作用形成的。因此,把碳酸盐含量较高的层

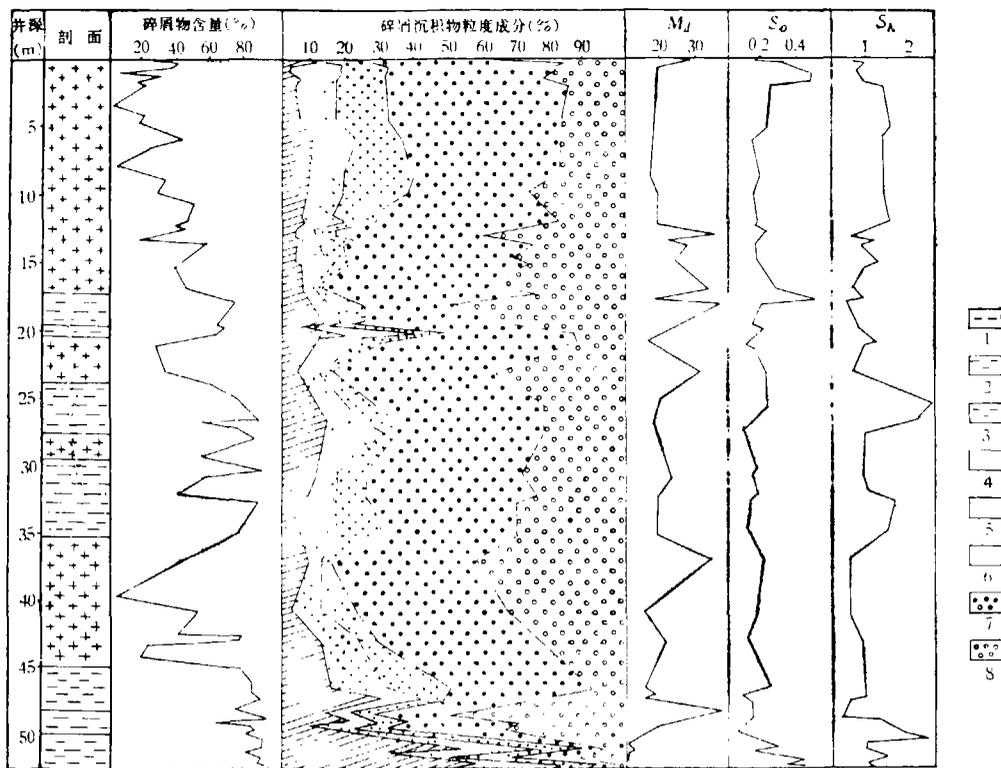


图3 察尔汗盐湖 CK1/81 钻孔碎屑沉积物粒度分析曲线

(1. 石盐层; 2. 粘土粉砂层; 3. 粘土层; 4. $<0.002\text{mm}$; 5. $0.002-0.005\text{mm}$; 6. $0.005-0.01\text{mm}$; 7. $0.01-0.05\text{mm}$; 8. $>0.05\text{mm}$)

位,作为代表湿润气候条件下湖泊相对淡化时期的沉积。

2. 碎屑沉积

在 52m 岩心中采集了 82 个样品进行分析鉴定工作。从图 3 可以看出,整个剖面以粉砂(或粉土, $0.005-0.05\text{mm}$) 占绝对优势,含量一般多为 50—60%,并有自下而上增加的趋势;

表1 察尔汗含盐地层碎屑沉积物与马兰黄土粒度成分平均含量对比表

地区	*马兰黄土粒级含量(%)							
	>0.25	$0.25-0.1$	$0.1-0.05$	>0.05	$0.05-0.01$	$0.01-0.005$	$0.05-0.005$	<0.005
山东	0.16	0.45	8.96	8.95	55.99	8.71	64.70	25.72
山西	0.00	1.02	26.17	27.20	46.35	7.20	53.56	19.09
陕西	0.00	1.11	29.18	30.29	45.88	6.73	52.61	17.00
甘肃陇东	0.00	1.05	22.57	23.62	54.06	6.63	60.69	15.69
甘肃陇中	0.00	1.04	23.93	24.97	48.75	7.58	56.36	18.59
甘肃陇西	0.00		23.47	23.47	47.40	7.78	56.10	20.37
青海柴达木		3.15	38.78	41.93	33.62	7.62	41.25	16.81
察尔汗盐湖	成盐阶段	2.75	26.74	28.03	46.32	8.73	55.24	16.94
	未成盐阶段	6.25	19.09	15.81	22.94	9.56	32.50	51.94

(*据刘东生 1965 年)

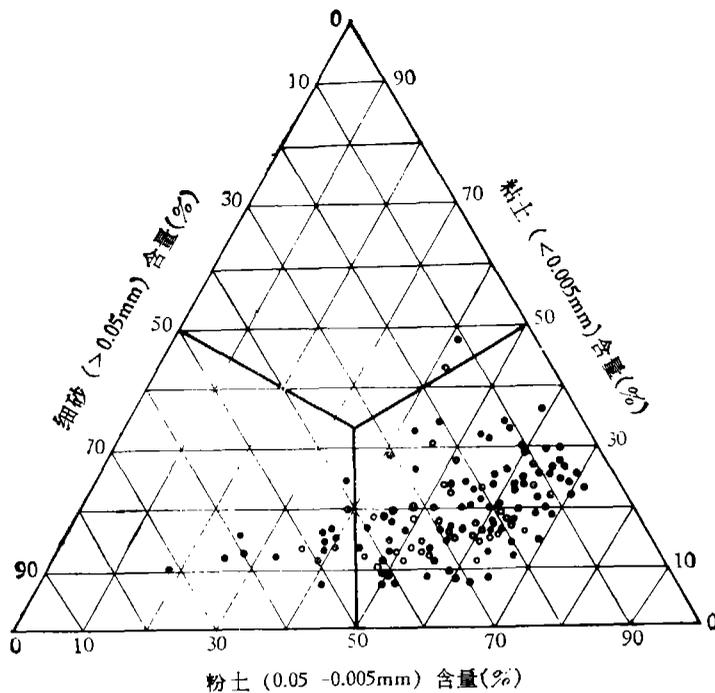


图 4 中国各地马兰黄土与察尔汗含盐地层粒度成分图

〔● 为马兰黄土(据刘东生, 1965); ○ 为察尔汗沉积物〕

细砂 ($>0.05\text{mm}$) 含量多在 20—34%；粘土 ($<0.05\text{mm}$) 含量多在 13—19%。它们的含量在剖面上形成几个高峰, 成为石盐的隔层。

把察尔汗成盐阶段沉积物中的粒度分析结果与马兰黄土^[3]加以对比, 可清楚地看到, 它们的粒度成分(图 4)和粒度成分的平均含量(表 1)十分接近。此外, 将马兰黄土与 CK1/81 钻孔岩心的 X 射线衍射分析结果加以比较(图 5), 不难发现, 它们之间的矿物组成, 同样是如此相似。根据上述资料, 初步认为察尔汗成盐地层中含有马兰黄土堆积。

此外, 有些磨圆度很好的石英颗粒表面, 具有毛玻璃现象, 说明在成盐阶段沉积物中还掺杂有风成砂。

粘土矿物由伊利石、绿泥石、蒙脱石及高岭石组成, 以伊利石为主 (60—80%), 次为绿泥石 (10—20%) 及少量蒙脱石和高岭石。在成盐阶段属 Fe-Mg-绿泥石, 未成盐阶段为 Fe-绿泥石^[4]。

根据 Al_2O_3 , MgO , K_2O (Braithc O, 1971^[5]) 相对百分含量三角图解, 察尔汗粘土的落点位置, 反映了冷温带大陆粘土化学组分特征(未成盐阶段)及沼泽、干湖粘土化学组分的特征(成盐阶段), 说明湖区粘土矿物属于他生的, 是被搬运而来的。

综上所述, 察尔汗盐湖沉积具有如下基本特征:

1) 盐类沉积发育在碎屑岩系中 含盐地层主要由石盐和碎屑两套沉积岩系相间组成。它不仅缺乏(不发育)硫酸盐沉积, 也缺乏碳酸盐沉积。这与海相盐类沉积多发育在碳酸盐岩系中有明显的差异。

2) 沉积分异不充分 石盐层几乎都不同程度的含泥砂、碳酸盐、石膏; 而碎屑沉积隔层

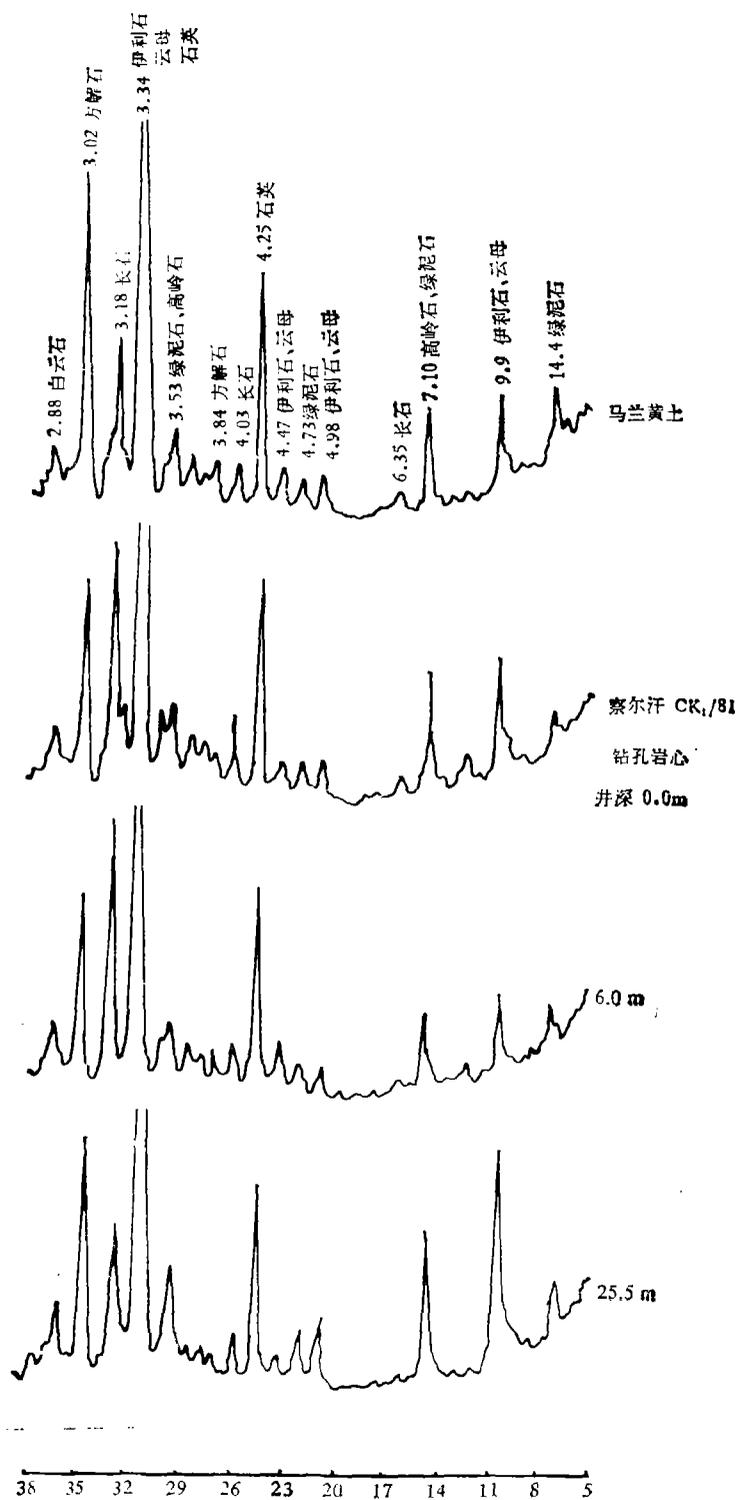


图 5 马兰黄土与察尔汗 CK1/81 钻孔碎屑物粉晶衍射图谱

中,又都掺杂石膏、石盐,从而形成一套化学“岩”与碎屑“岩”的混杂沉积。

含盐地层中的碳酸盐和石膏晶体都很细小,化学沉积与碎屑沉积交替频繁,纯粘土层少而砂层占优势。上述这些沉积特征,都反映当时是一种浅水的波动频繁的沉积环境。在上盐层(S₄)沉积过程中,甚至出现干湖的沉积环境,揭示了察尔汗盐湖是一个水域辽阔而水深却很浅的湖泊。

3) 含盐地层中伴生风积物 察尔汗含盐系中存在马兰黄土,这在该湖区尚属首次发现。一个被风积物和风蚀地形占统治地位的荒漠区所包围的水体,特别是象察尔汗这样一个水域辽阔的湖泊,它类似一个巨大的陷坑,可以捕捉大量风成物,从而构成盐湖相与风成相混杂沉积的特征。西部上新统和更新统早期的含盐地层,广泛出露地表(是形成“雅丹”地形的主要地层),它在提供大量风成物的同时,其中也必然携带着大量盐分进入湖中,成为提供盐分来源的一种重要方式。

三、三万年来的气候演化

根据中澳合作研究期间所获得的一些资料,在对察尔汗盐湖沉积特征及其成盐演化认识的基础上,提出一些梗概的看法。

1. 几个湖区高湖面的点滴资料

1981—1982年中澳合作考察期间, Bowler 博士很重视古湖岸变迁的研究。我们先后在几个湖区都发现由湖滨砂砾组成的古湖岸遗迹。例如小柴旦湖的高湖面至少高出现在湖面 74m;巴龙马海湖的高湖面至少高出现在湖面(或盐滩) 60—75m,古岸遗迹有 7—8 个之多。另外,在小柴旦湖东南岸台地上,还发现古人类的石器。这些新发现,对于恢复盆地内的古气候无疑是十分重要的。上述资料表明在盐湖尚未出现之前,柴达木盆地存在着巨大的淡水湖,其中有些湖泊甚至是相互连通的,成为数万平方公里巨大的柴达木古湖。可见当时柴达木的气候是相当潮湿的,绝非象今日那种满目荒漠的景观。柴达木成为干旱盆地,看来是发生在过

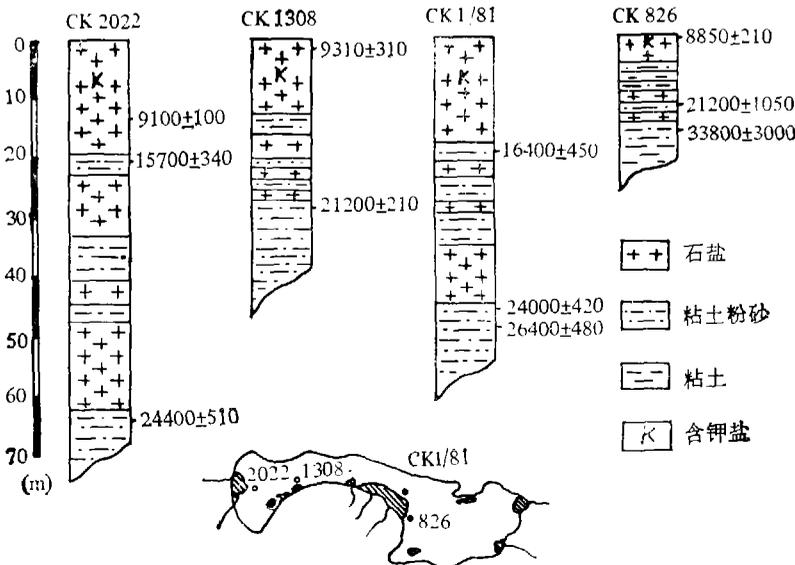


图 6 察尔汗盐湖不同钻孔 ¹⁴C 年龄

表 2 世界各地晚更新世古沙丘的年龄

地 区	年代(距今)	资 料 来 源
拉贾斯坦(印度)	9250年前	Sing, G. 1971
塞内加尔	30000年后	Michel, P. 1968
澳大利亚东南	30000年前	Williams, G. E., Polach, H. A. 1971
艾尔湖(澳大利亚)	23000—25000年后	Twidale, C. R. 1972
乍得	~22000—12400年	Butzer, K. W. 1972
安哥拉东北	~38000—12920年	Butzer, K. W. 1972
澳大利亚	25000—13000年	Bowler, J. M. 1976
萨哈拉	20000—12000年	Rognon, P. 1976

据 Go udie, A. S. 1977.

去不久的历史时期。

2. 察尔汗盐湖的年龄

鉴于我们的工作还在进行中,目前测得的年龄数据尚不够系统,对多数古岸没有获得可供测定年龄的理想样品。现根据察尔汗西部 CK2022 孔^[6]和察尔汗中部的 CK1/81 孔 ¹⁴C 年龄数据,表明该湖区底部石盐层开始形成于距今 24000 年(图 6);上层石盐形成于距今 16000 年,大约结束于距今 9000 年。

3. 察尔汗盐系与风成堆积

刘东生提出中国马兰黄土开始形成于距今 30000 年^[7],王永焱也认为马兰黄土的形成时代不早于 35000 年^[8]。在内蒙古萨拉乌苏地区^[9],青海共和盆地^[10],发现晚更新世后期有风沙沉积。根据 Goudie^[11] 的统计,世界不少地区在晚更新世晚期也都相当普遍地发育了古沙丘(表 2)。可以看出,察尔汗盐系地层与马兰黄土、古沙丘是相对应的,属于晚更新世晚期干旱气候条件下的产物。

4. 察尔汗盐系与低海面

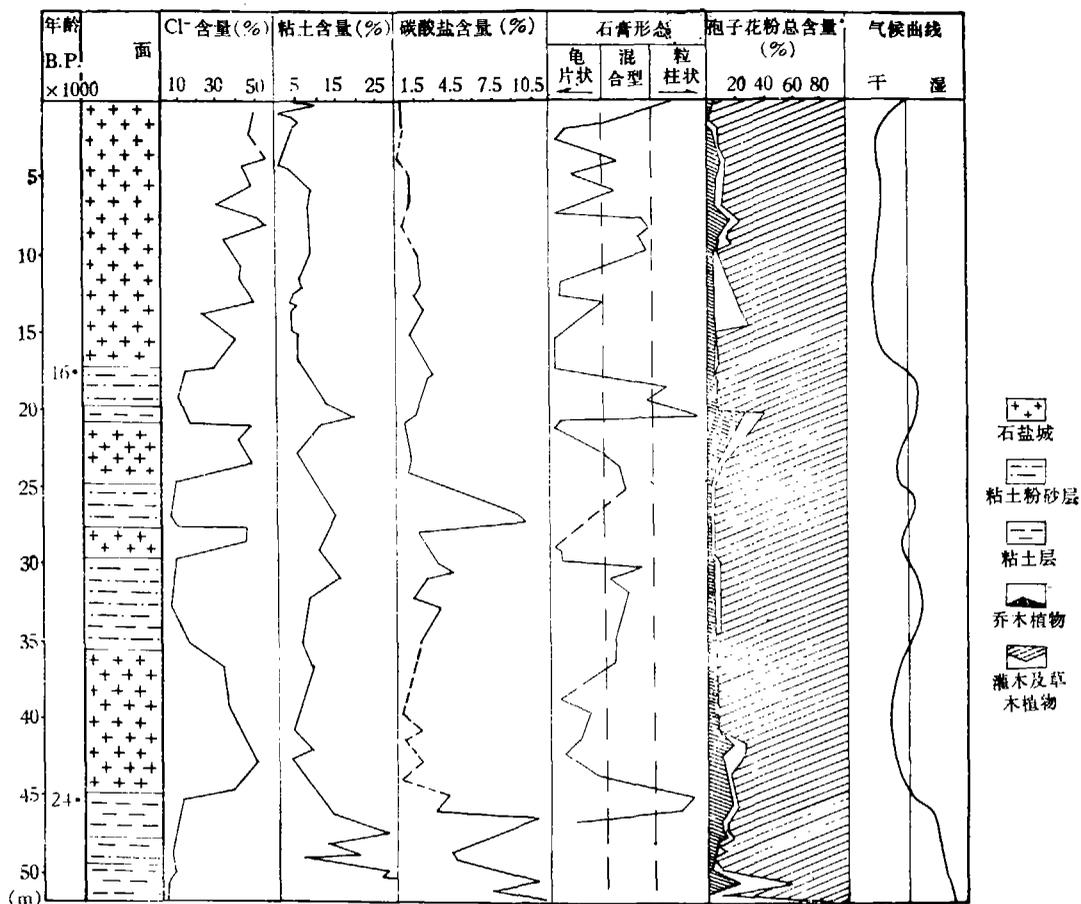
近些年来,报道了不少研究玉木(Würm)冰期以来中国海面变动的文章^[12-14]。低海面与察尔汗盐层开始出现的时间很吻合。值得提出的是,最低海面与察尔汗上盐层中出现的钾盐沉积时间一致。钾盐是盐湖的末期产物,甚至是进入干盐湖沉积的重要标志。

5. 三万年来气候的演化

综合察尔汗 CK1/81 钻孔剖面中氯离子含量、粘土和碳酸盐含量及石膏形态,绘制出三万年来古气候波动曲线(图 7)。基本可划分出四个相对湿润期和石盐沉积的四个干燥期,它们相间出现,组成四个气候旋迴。

这四个气候旋迴,实际上是由显著不同的两个气候旋迴组成。即在井深大约 45m 以下,距今 24000 年前,属于未成盐阶段的潮湿气候;从此之后,属于成盐阶段的干旱气候,其中包括四个石盐沉积层(干旱)和三个碎屑沉积层(相对湿润)间互出现,反映干旱气候旋迴中也还存在着小的气候波动。

1) 在成盐阶段,总的来看气候变化幅度不大,以干旱气候环境为主体。孢粉组合以旱生、盐生的小灌木和草本植物占优势,与中亚荒漠条件下的组分一样,麻黄(Ephedra)、蒿(Artemisia)、藜(Henopodiaceae)、白刺(Nitraria)为主,尽管在一些碎屑沉积隔层中乔木植



* 据孔昭宸、杜乃秋, 1983.

图 7 察尔汗盐湖 CK1/81 钻孔剖面及其气候波动曲线

物孢粉组合有不同程度的增高¹⁾。至于前面所介绍的盐层中掺杂碎屑沉积,以及碎屑层中混有膏、盐沉积的特征,就更为有力地说明在成盐阶段基本保持着浅水盐湖相的环境,没有发生巨大的气候变化。然而,强调以干旱为主体,绝非忽视间互出现的相对湿润气候。主要由粉砂、粘土、碳酸盐等组成的沉积层,毕竟较石盐层的沉积环境湿润。

按照盐类沉积的先后次序,钾石盐 (KCl)、光卤石 ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) 是盐湖演化到晚期的产物,也可视为盐湖发展到干涸阶段的标志。察尔汗上部石盐层 (S_4) 中出现这些钾盐沉积,足以表明在长期持续干旱的基础上,在察尔汗成盐阶段的后期(距今 16000 年以后)出现了较前更为干旱的气候环境。它与我国玉木冰期最低海面相对应,与东南澳大利亚一些湖泊开始成为干湖的时间(距今 15,000 年, Bowler, J. M. 1970) 相当。

人们不禁要问,察尔汗古盐湖在什么时间干涸而停止盐类沉积的呢? 我们没有获得测定上盐层 (S_4) 顶部的理想样品,只测定了上盐层不同井深的样品,自西而东有: 2022 孔在井

1) 杜乃秋、孔昭宸,达布逊湖 CK1/81 钻孔孢粉组合及其在地理学和植物学上的意义, 1983.

深 13—14m 处 ^{14}C 年龄距今 9170 ± 100 年; 1308 钻孔井深 2.5—3m 处为 9300 ± 310 年; 826 钻孔 1.3—1.7m 处为 8850 ± 210 年^[9]。这几个数据提示我们, 察尔汗盐湖干涸的时间大约在距今 9000 年左右。从此之后, 由于气候再一次变为相对湿润, 淡水补给较丰富的干盐滩南缘, 便出现了目前的新生盐湖; 水量补给贫乏的盐滩北缘, 不能形成新生盐湖, 而是由少量潜水溢出和小泉溶解盐滩, 形成许多小溶塘(图版 I, 6) 或溶沟, 它们断续相连, 成为宽数米至十几米沿着盐滩边缘分布的溶蚀带。这种溶蚀作用还在经常进行着, 已经向盐滩内部蚕食了大约数百米。干盐滩在逐渐缩小。

2) 未成盐阶段(距今 24000 年以前)与成盐阶段在沉积物性质上具有较明显的差异前者以碎屑沉积为主, 后者以盐类化学沉积为主, 代表两种不同沉积环境, 它们是在气候逐渐变干的条件下, 湖泊长期演化的结果。从图 7 看出, 在进入石盐沉积以前, 氯离子含量低, 而粘土、碳酸盐含量高。此外, 表 3 的资料也可说明一些它们之间的差异。上述资料揭示了未成盐阶段的气候环境较成盐阶段间互出现的湿润气候还要潮湿得多, 存在着一个潮湿期。

表 3 成盐与未成盐阶段的比较

成盐阶段	Fe-Mg 绿泥石	沼泽、干湖型大陆粘土	具马兰黄土粒度组分特征	未见介形类化石
未成盐阶段	Fe-绿泥石	冷温带型大陆粘土	无	Qinghaicypris aff crassa Huang 水质较淡 (黄宝仁, 1951)

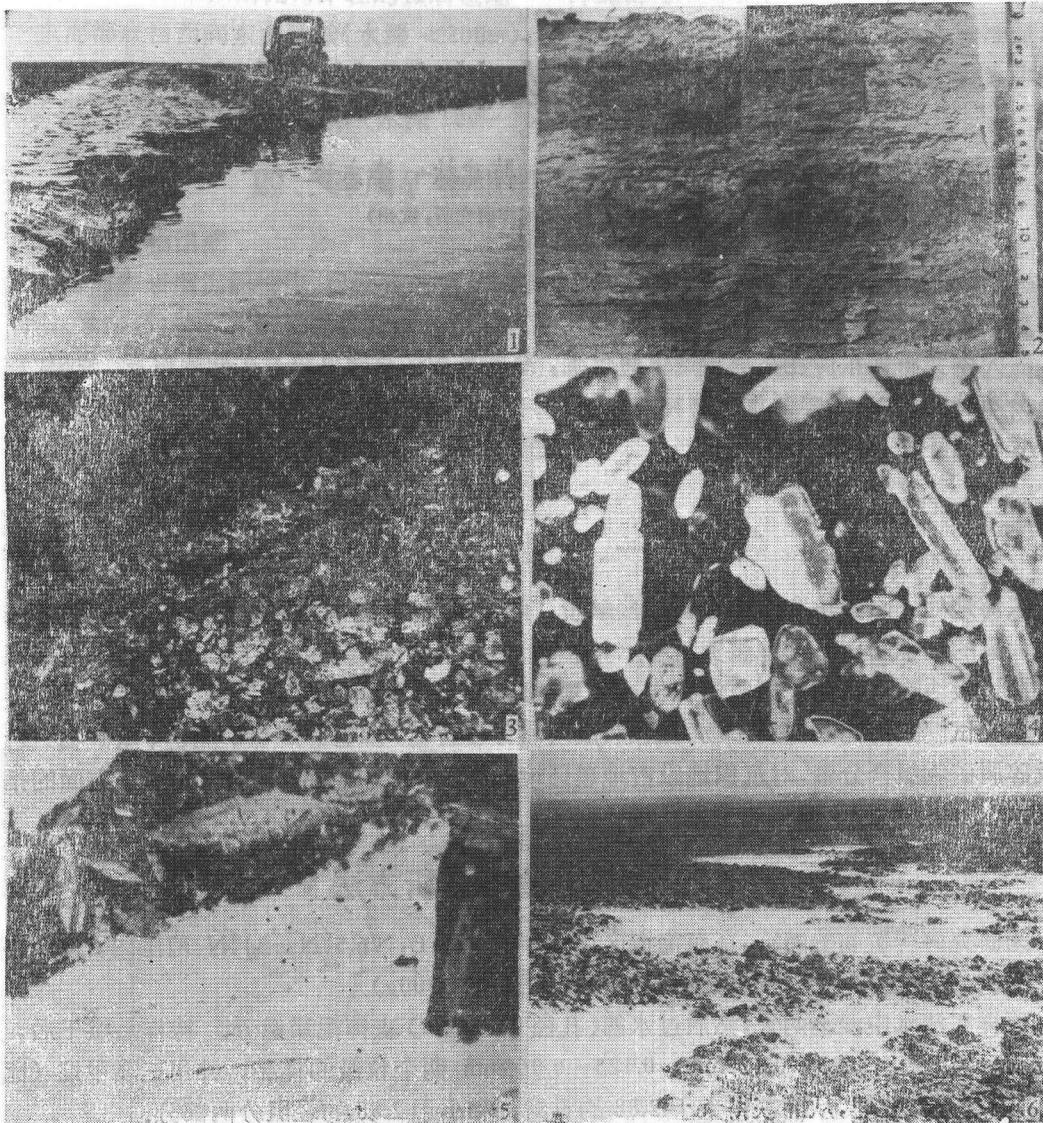
总之, 察尔汗湖区近三万年来大约经历了潮湿(距今 24000 年以前)→干旱(距今 24000 年以后)→最干旱(距今 15700—9000 年)→相对湿润(距今 9000 年至现在)的气候演化。

3) 察尔汗含盐系、马兰黄土、古沙丘、低海面以及主玉木冰期可以相互对应, 说明察尔汗成盐作用不是在局部地区偶然的出现, 而是在广大范围内客观环境的反映。盐湖也同样是研究第四纪古气候演化的良好地质体。

本研究课题得到刘东生教授和张彭熹、朱广美、张涛、胡寿永同志的大力支持, 张明刚、刘青等同志参加野外考察, 胡金泉、刘建华同志清绘图件, 特致谢忱。

参 考 文 献

- [1] 袁见齐、霍承禹、蔡克勤, 地质论评, **29**(1983)2: 159—165.
- [2] 陈克造、杨绍修、郑善玉, 地理学报, **36**(1981)1: 13—21.
- [3] 刘东生等, 中国黄土堆积, 科学出版社, 1965, 154—156.
- [4] 徐昶, 沉积学报, **1**(1983), 3: 123—127.
- [5] Braitch, O., *Salt Deposits Their Origin and Composition*, Springer-Venlay. Berlin, Heidelberg. 1971, 230.
- [6] Huang Qi, Cai Bigin and Yu Junqing, *KEXUE TONGBAO*, **26**(1981), 1: 66—78.
- [7] 刘东生、安芷生、朱炳泉, 中国黄土的堆积与演化, 中国科学院地球化学研究所专刊, 1979, 1—29.
- [8] 王永焱, 中国第四纪研究委员会第三届学术会议论文摘要汇编, 1979, 260.
- [9] 董光荣、李保生, 第三届全国第四纪学术会议论文集, 科学出版社, 1982, 249—251.
- [10] 徐叔鹰, 中国沙漠, **2**(1982)3: 1—8.
- [11] Goudie, A. S. (邢嘉明等译), 环境变迁, 海洋出版社, 1981.
- [12] 耿秀山、徐寿诗, 第三届全国第四纪学术会议论文集, 科学出版社, 1982, 281—282.
- [13] 朱永其等, 第三届全国第四纪学术会议论文集, 科学出版社, 1982, 282—283.
- [14] 王靖泰、汪吕先, 第三届全国第四纪学术会议论文集, 科学出版社, 1982, 284—285.



1. 察尔汗盐滩被河水溶蚀形成的新生盐湖——西达布透湖； 2. 石膏(白色线条)与粘土或粘土粉砂形成的微细层理； 3. 隔层中的粒状石膏； 4. 上部石盐隔层中的板、柱状石膏(水溶处理)， $\times 45$ ； 5. 盐层中的龟片状石膏， $\times 40$ ； 6. 察尔汗盐滩北缘潜水溢出形成的溶塘。