

# 青海湖湖区风成沙堆积

师永民<sup>1</sup> 王新民<sup>1</sup> 宋春晖<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> (西北地质研究所, 兰州 730020)

<sup>2</sup> (兰州大学, 兰州 730000)

**提 要** 通过对青海湖现代沉积环境与沉积相研究,并结合古代沉积盆地进行对比分析,认为风成堆积相是湖泊环境在内陆干燥气候条件下湖盆沉积的一种重要类型。本文讨论了湖泊环境中风成堆积相沉积的气候特征、形成过程、分布范围、沉积及储层岩石特征等。最后,结合国内外风成砂岩油气藏储集特征描述,指出湖盆中风成砂作为油气储集层具有良好的储集性能,这种沉积类型的分布具有一定的石油地质意义。

**关键词** 青海湖 风成堆积 储层

**第一作者简介** 师永民 男 30岁 工程师 石油地质学

## 1 青海湖区地理、地质特征

青海湖是我国西部干燥气候条件下最大的内陆高原微咸水湖泊,其自然地理位置位于青藏高原的东北缘。湖区由大通山、日月山和青海南山所环绕,构成呈西北—东南向延伸、西北高、东南低的封闭式山间内陆断陷盆地。具有山间断陷近物源沉积的特点。湖盆的形成演化经历了断陷期、河湖共存期、全盛时期和萎缩期四个阶段,目前处于萎缩期<sup>①</sup>。湖泊形状近似菱形,长轴方向为北西向近 $315^\circ$ ,湖泊面积 $4\,635\text{km}^2$ 。风成沙堆积集中分布在湖东北岸的滨湖平原和湖两岸的滨岸带上(图1)。

青海湖处于我国东部季风区、西北部干旱区和西南部高寒区交汇地带,并具有其自身的湖泊效应。因而有着明显的地区性气候特点:半干旱、高寒、少雨、多风、太阳辐射强烈、气温日差较大,属于北温带高原半干旱高寒气候区,又具备典型的高原草原性气候特征。由此可见,青海湖湖区风成沙沉积物的形成就有其特殊的气候条件,这就是半潮湿—半干旱气候条件,区域季风盛行,湖风与陆风交替出现,具有明显的地区性气候特点。而不具备这种气候环境的湖泊

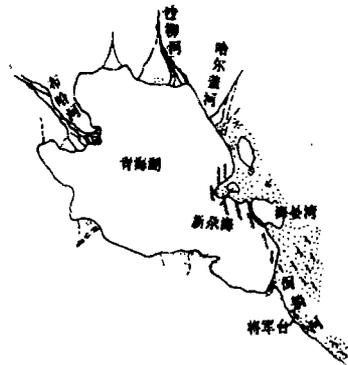


图1 青海湖区风成沙分布图  
Fig. 1 Distribution map of aeolian sand in Qinghai Lake

\* 宋春晖, 师永民, 王新民. 青海湖现代沉积环境与沉积相. 科研成果报告, 1995.  
通讯联系人。  
收稿日期: 1996-01-29

就不能形成这样规模较大的风成沉积。如云南的滇池和洱海，虽然同属于高原内陆断陷湖盆，却不发育较大规模的风成沙沉积，因为这里位于印度洋与太平洋暖湿气流交汇带上，属亚热带—热带高原型湿润季风气候，气候温暖湿润，雨量充沛，风力作用相对较小，与青海湖湖区气候有着明显的差异。

青海湖风成沙丘与我国西北地区塔克拉玛干和毛乌素大沙漠中风成沙丘在形成和沉积特征上是不同的，主要表现在区域分布、地貌特征、地理环境和风搬运沙的距离等方面存在一定的区别。塔克拉玛干和毛乌素大沙漠地处天然低湿度而几乎没有植被的大型盆地中，浩瀚无边，沙丘遍地分布于全盆地，达几万平方公里，地形起伏不定，常伴随有沙漠湖、内陆盐沼、岩漠、砾漠和旱谷等地貌，风搬运沙的距离可长达几百公里。与大沙漠相比，青海湖湖区风成沙堆积分布面积小，一般分布于湖盆长轴方向的两侧广阔的滨湖平原上，风搬运沙的距离较短（一般几十米至几千米）。在滨湖平原上邻近沙丘与沙山的宽阔地带，植被繁茂，风成沙丘与环湖大草原相互共生。同时，密集展布和形体高大的沙丘和沙山与碧波荡漾的湖水相互映衬，共同组成了一幅十分独特的自然地理景观。

## 2 风成沙丘的形成与分布

青海湖湖区风成堆积物环湖都有分布，但最发育于湖区东北部的滨湖平原和湖西岸布哈河口附近的滨岸带上（图1）。这种分布和风向、风速、地理环境、地貌条件及风搬运沙的距离有关。

湖区东北部沙丘与沙山是本区最主要的风成堆积物分布区。从湖东北岸至同宝山—大板山之间的滨湖平原上，北起干子河口，南抵满隆山北麓，南北延伸 60 km，东西宽 10—15 km，面积约 320 km<sup>2</sup>，以海晏湾泻湖为界，风成沙丘分为南北两部。北部沙丘分布在尕海的西侧和南侧，呈北北西向呈带状延伸。南部沙丘从克图垭山口到满隆山麓、从达板山前到青海湖岸边布满整个滨湖平原，主要形态为链状金字塔型沙丘与沙山，其相对高度最大可达 150 多米，这与克图垭山口形成的大风口有关。由于青海湖面积巨大，在开阔湖面的影响下，使之强大的陆风与湖风交替出现。据观察统计，湖区年平均风速为 3.1—4.3 m/s，以 3—5 月风力为最强，曾有春季瞬时最大风速达 30 m/s 的记录，刚察地区累计年 8 级以上大风最长持续日数亦出现于春季<sup>[1]</sup>。因此，强劲的西风和西北风把湖区西岸和北岸河口三角洲地带的沙粒吹扬起来并向东南方向输送，在受到湖盆东北部大板山、日月山等高山阻挡后沙粒便停落下来，从而造成湖岸东侧广泛的沙山和沙丘堆积。这些风成沙堆积不仅在滨湖平原造成分布规模较大的沙丘与沙山，而且还大量地降落在水下，形成水下风成堆积，并使湖中的沙岛与沙堤不断增高，造成尕海、新尕海和海晏湾泻湖等堰寒湖。

关于存在水下风成沙沉积的证据是，经风从河口地带搬运来的砂粒大量降落于水下，再经波浪和沿岸流作用形成从湖湾一侧伸向湖中的沙洲和沙岛。从 1958 年、1975 年和 1992 年分别拍摄的卫星照片分析，海晏湾前端沙洲的水下部分目前已将整个湾口封闭起来，水上部分呈一狭长嘴状横列于湾口。这些水下沙洲出露水面后又接受大量风沙堆积，因而迅速扩大增高，形成层层叠叠的沙丘分布，沙漠面积约 100 km<sup>2</sup>，沙岛上新月形沙丘与沙山密集分布，个别高大者可达 30 m 以上。在西北风控制的波浪力作用下，沙岛两翼向东南方向伸展，因而使沙岛外形均呈新月形（图 1）。经前人采样分析，业已证明在青海湖东北岸浅

水地带湖底有大量的风成沙堆积<sup>[1]</sup>。

在倒淌河与狼麻河之间的分水岭地带是青海湖东岸最东南边缘的一个风沙堆积区,虽然它距目前青海湖达40 km之遥,但在晚更新世前青海湖未闭流时是入黄河的大谷地,以后才隆起成为分水梁岗。全新世早期,青海湖面曾到达现在倒淌河镇附近,该风沙区南距当时湖滨仅10 km左右,说明其沙源来自滨浅湖地带。由于倒淌河河谷形成大的风口,使之强劲的西风把湖区滨岸带的沙粒吹扬起来经较远距离的搬运,降落在倒淌河与狼麻河之间的分水岭地区,形成顺山麓斜坡高地南北延伸约7 km,面积65 km<sup>2</sup>的风成沙丘(图1)。

湖区西岸的滨岸沙丘分布于海西山西北约300 m的布哈河三角洲西北缘(现今为废弃三角洲部分),距湖边100—300 m。沿岸方向呈带状分布,宽约600 m,延伸长度124 km,面积约7.2 km<sup>2</sup>。主要形态呈新月型沙丘和新月型沙丘链,其成因是由两个相反方向的风交替作用,而其中一个风向占优势的条件下形成的。虽然湖区盛行西风和西北风,但由于受临近两侧黑山地形阻碍,造成西风和西北风在该处微弱,而湖风占主导地位,从而形成从湖边浅水地带向西移动的沙丘。与湖区东北部和东南部风成沙丘相比,西岸沙丘搬运距离较近,其沉积特征和分布与海滩沙丘较为相似,属于湖泊环境下形成的一种滨岸沙丘。

湖盆的构造格局和地貌特征对风成堆积物的分布也有一定的影响。从青海湖湖区风成堆积体系展布来看,风成沙沉积分布在湖盆长轴方向湖滨平原地带,而且主要分布在湖盆长轴方向的两端。这是因为一方面在湖盆的长轴方向发育较大规模的河流三角洲沉积体系,沉积物相对较细,沙源供应充分。另一方面断陷湖盆长条形地貌迫使风向沿盆地长轴方向吹扬,从而使风成堆积物沿湖盆长轴方向展布。至于主要分布在湖盆的那一侧,这取决于湖盆水系分布、湖泊萎缩期区域内盛行季风的风向和湖风与陆风的相对强弱及滨岸带地形的坡降。

从以上青海湖风成沙丘的形成与分布特征看,风成堆积物的形成与湖盆演化的一定历史阶段相联系,并非在湖泊发生、发展、全盛、萎缩和消亡等各个阶段都能形成风成堆积相。笔者认为湖泊环境中的风成沙堆积可能形成于湖盆演化的萎缩期。一方面随着湖泊进入萎缩期,早期形成的较大规模的河流、三角洲砂体及滨湖、浅湖地带沉积的砂质沉积物不断出露水面,从而为沙丘的形成提供了大量沙源。另一方面,湖盆演化进入萎缩期,气候由湿润变为干旱—半干旱,蒸发量大于降雨量,而且季风盛行。正是由于这两方面的因素作用才形成如今湖区风成沙堆积的地貌景观。由此可见,气候和沙源是湖区风成堆积物形成发育的两个首要的基本的条件。此外,还与地貌、水系和风搬运沙的距离等因素有关。

在风成沙形成的较长时期内,构造活动也是影响风成沙堆积的一个方面。由于新构造运动使湖盆西部的沉降幅度大于东部,以及西北风造成的激浪流和风沙在东部浅水带不断加积的缘故,因而湖泊东部的沙带范围更宽,在湖面下降过程中东岸的风沙活动也就更加活跃。随着第四纪喜马拉雅多期构造幕的活动,特别是全新世以来冰期与间冰期的周期性出现,致使湖泊退缩和风沙活动的发展并不是直线式的,而是呈波浪式的曲折前进。从海晏湾泻湖东南侧和倒淌河分水岭地区出露的风成沙沉积剖面看,可明显分出两个不同时代的风沙堆积,在已被钙质微胶结的老沙丘上覆盖着松散的新沙丘,其间广泛分布着一层腐殖质含量很高的古土壤层,层厚2—5 m,可见螺壳化石,有时发育水平层理和水平薄纹层理。据尹泽生等人作<sup>14</sup>C年代测定,该土壤层形成于距今3 960±100年<sup>[1]</sup>。这一广泛而又稳定分布的古土壤层标志着气候的温暖湿润时期,也是风沙堆积间断时期,与距今4 000年左

右的间冰期相对应。由此看来，老沙丘应是早全新世寒冷冰期的风沙堆积体，新沙丘则是距今 3 000 余年的新冰期产物。

### 3 沉积特征

通过野外观察和测量，在沙丘的迎风坡上发育风成波痕，这些沙波痕有长而平的直脊，不对称，波痕指数高，可见发育良好的分叉脊。弯曲的波痕有变直的趋势，直至与风向垂直。在一个完整的大波痕中可以有数个小波痕，这些大波痕与小波痕相协调呈相互平行关系，或者不协调而呈相互垂直关系。波痕指数的变化与粒度成正比，最粗的颗粒聚集在沙波痕的脊上，而波谷沙粒则较细。粗颗粒表面毛玻璃化，上面有许多细小的不规则小凹坑。沙丘的不同部位其粒度大小呈有规律地变化，从迎风坡→沙脊→背风坡，它们的平均粒径分别为 0.137 mm、0.167 mm 和 0.119 mm，即缓坡和脊部粒度粗于陡坡，其特征表明了沙丘的形成过程和移动方向，沙丘的缓坡和脊部迎风受风力作用强（特别是脊部），使其上细颗粒物由风搬运至背风陡坡，由于气流在沙丘的背风坡形成具有旋转轴向水平涡流，因而速度减弱，沙粒便在沙丘背风坡上堆积。较粗颗粒留在缓坡，在风力持续作用下慢慢地以跳动和蠕动方式移向脊部，并在顶部堆积，只有当沙粒堆积到坡度超过休止角（ $34^\circ$ ）时，才发生坠落，形成滑动面。这种过程反复进行，使得沙丘不断向前移动。

风成沙中发育有大型交错层理和小型沙纹层理（前积交错层理）。大型交错层理以层系界限近于板状、定向性稳定和伸展远为特征。小型沙纹层理（前积交错层理）以具有弧形下凹斜层系为特征。

湖泊环境中的风成沙丘矿物成份成熟度较低。沙质轻矿物成分主要为石英占 45%，斜长石占 20%，钾长石为 10%，方解石（+白云石）占 25%（表 1）。重矿物主要为普通角闪石、帘石类、绿泥石、磁铁矿、褐铁矿、石榴子石和电气石。从表 1 可看出，湖滩沙与两岸沙丘两者轻矿物成分较为相近，存在一致性，不同之处只是西

岸沙丘较湖滩沙稳定矿物成分（石英含量）增加，而不稳定矿物成分（方解石和岩屑含量）相应减少，说明西岸沙丘是滨湖带湖滩沙经风改造再搬运而成的风成堆积物，而与沙漠中的风成沙在物源方面存在较大的区别。

风成沙丘颗粒结构成熟度高，磨圆度和分选性均较好，以细沙为主。从粒度累计频率曲线（图 2）和粒度累计概率曲线分析，最大沙粒小于 0.7 mm。占 96% 以上的颗粒集中分布在 0.335—0.063 mm 之间，曲线斜率大。 $\delta_1 = 0.4879 - 0.5496$ ，表明沙粒分选性很好。 $S_k = 0.033 - 0.440$ ， $K_g = 0.9056 - 1.0586$ （表 2），说明沙丘在由湖滩经风吹扬搬运过程中，由于风力较弱，湖滩沙中粗粒部分因吹不动而被除去，形成了频率曲线主要呈微弱的正偏度及峰态中等的特征。根据萨胡环境判别公式求得  $Y_1$ （风成或海滩）值均小于 -2.7411（表 2），表明属于特征的风成产物。

表 1 青海湖西岸沙丘与湖滩沙轻矿物成分对比表（%）

Table 1 Comparasions of light mineralogical component between west bank sand dune and beach sand in Qinghai Lake

沉积物 \ 轻矿物类型	石英	钾长石	斜长石	方解石	岩屑
湖滩沙	40	5	20	30	5
西岸沙丘	45	10	20	25	0

注：湖滩沙和西岸沙丘分析数据分别是由

3 组沙样综合的结果。

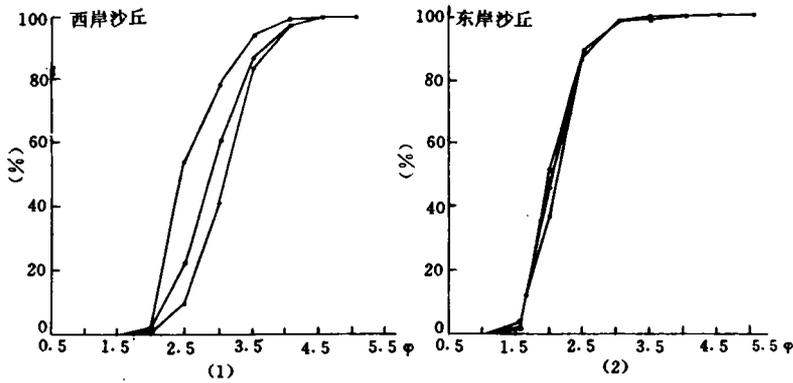


图2 青海湖风成沙粒度累计频率曲线图

Fig. 2 Cumulative grainsize curve of aeolian sand in Qinghai Lake

表2 青海湖湖区风成沙粒度分析统计表

Table 2 Statistic size parameters of aeolian sand in Qinghai Lake area

沙丘	Md (φ值)	$\delta_1$	$S_k$	$K_g$	最大粒径 (mm)	小于0.063mm 含量(%)	$Y_1$	
西岸	缓坡	2.8731	0.5496	0.0849	0.9847	0.7—0.5	1.79	-6.85
	脊部	2.5803	0.4879	0.44	0.9056	0.7—0.5	0.70	-7.0047
	陡坡	3.0645	0.4893	0.0333	1.0586	0.7—0.5	2.92	-7.078
东岸	缓坡	2.0341	0.361	0.2768	0.9539	0.7—0.5	0.05	-4.622
	脊部	2.065	0.3681	0.1645	0.9357	0.7—0.5	0.03	-4.569
	陡坡	2.1034	0.3665	0.0216	1.0159	0.7—0.5	0.05	-4.16

注:① 粒度参数由福克及沃德公式计算; ② 以上数据是由13组沙样粒度分析结果综合而成。

通过以上作风成沙粒度分析,认为湖泊环境中风对沉积物的搬运类似于水对沉积物的搬运,亦存在滚动、跳跃和悬浮三种方式的搬运,不同之处只是风中这三个总体更能有效地分离粘土、粉沙和沙,使得风成沙的颗粒分选性好,磨圆度高。说明湖盆中风成沙是近源河流经风改造而成风成堆积物,不是沙漠典型的风成沙粒度曲线。

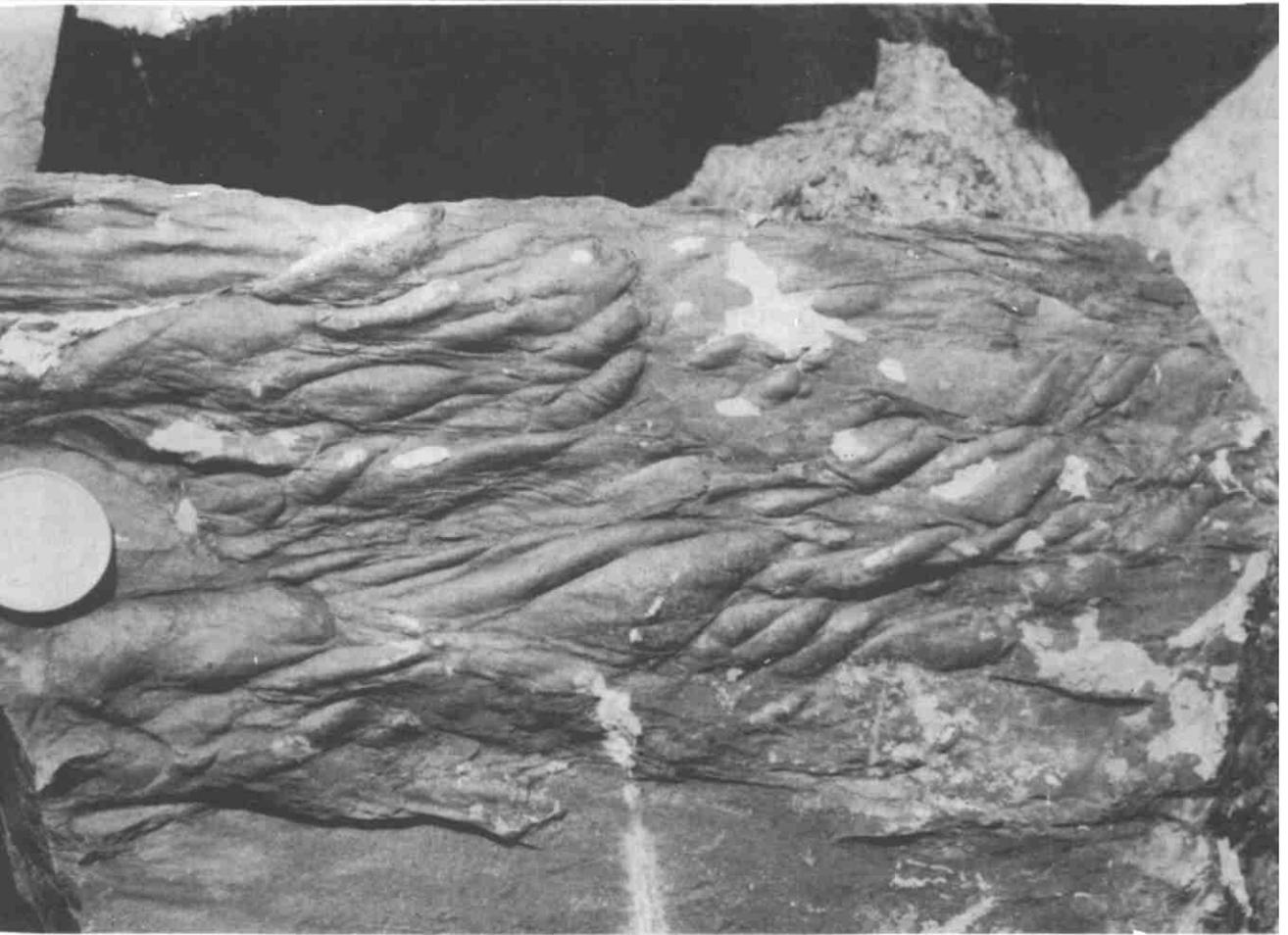
#### 4 湖盆中风成堆积与油气关系讨论

关于风成沉积的经济意义,这方面国外研究的较多,特别是美国西部内陆的宾夕法尼亚系和侏罗系及北海二叠系赤底统地层风成砂岩油气藏的发现,说明风成体系中有油气伴生,促进了对风成沉积体系的研究。在北海、斯洛赫特伦油田和其它一些地方,二叠系赤底统砂岩油气藏厚度可达几百英尺,这种砂岩有很多几乎未胶结的孔隙度和渗透率很高的沙丘砂岩<sup>(2)</sup>。另外,在阿尔及利亚哈西鲁迈勒和哈德贝尔科油气田下三叠统含油气砂岩被认为大部分是非海相的,可能至少有一部分是风成砂<sup>(2)</sup>。

ISSN 1000-0550

# 沉积学报

ACTA SEDIMENTOLOGICA SINICA



沉积学会 主办  
中国科学院兰州地质研究所 出版  
科学出版社

增刊  
1996