

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.03.004

湖盆砾质滩坝沉积序列及其成因

——以青海湖东南岸现代滩坝沉积为例

孟旺才¹, 陈玉宝², 陈立军³, 李欣伟¹

(1. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安 710069; 2. 延长油田股份有限公司科技部, 陕西 延安 716000;
3. 延长油田股份有限公司勘探开发技术研究中心, 陕西 延安 716000)

摘要:现代是过去的钥匙。笔者在青海湖野外实地考察的基础上,通过探槽对青海湖东南岸现代滩坝进行平行湖岸线及垂直湖岸线精细解剖,总结了砾质滩坝的沉积特征及序列,并解释了沉积序列的成因。青海湖东南岸砾质滩坝岩性主要为中砾岩、细砾岩及粗砂岩;低角度冲洗交错层理、平行层理、块状层理、正递变层理;砾质滩坝具有固定的“ABC”沉积序列。A段为序列的底部,由粗砂和砾石组成,颗粒呈次圆状,分选较差,块状,砾石定向的漂浮于粗砂中;B段为序列的中部,由砾石组成,颗粒呈次圆状,分选较好,块状;C段为序列的顶部,由粗砂组成,分选较好,正粒序。砾质滩坝形成的水动力条件可以分为3个带,波浪不对称带,破浪带和冲浪带。波浪不对称带形成“A段”,破浪带形成“B段”,冲浪带形成“C段”。

关键词:青海湖;滩坝砾质;滩坝;沉积序列

中图分类号:TE121.3

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2020)03-0056-10

Study of Sedimentary Succession and Its Origin of Gravel Beach Bar: A Case from the Modern Beach Bar in the Southeastern Qinghai Lake

MENG Wangcai¹, CHEN Yubao², CHEN Lijun³, LI Xinwei¹

(1. Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an 710069, Shaanxi, China; 2. Ministry of Science and Technology, Yanchang Oil Field Co., Ltd., Yan'an 716000, Shaanxi, China; 3. Exploration and Development Technology Research Center, Yanchang Oil Field Co. Ltd., Yan'an 716000, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the field investigation into Qinghai Lake, the author summarized the sedimentary characteristics and successions of gravel beach bar and analyzed the origin of sedimentary successions by means of trenching technology. The lithology of the gravel beach bar in the southeastern part of the Qinghai Lake is mainly medium conglomerates, fine conglomerates and coarse sandstones. The sedimentary structures are mainly low-angle swash bedding, parallel bedding, massive bedding and normally graded bedding. Gravel beach bar display an “ABC” sequence. “A” interval, the bottom of the sedimentary succession, is composed of coarse sands and gravels, which are sub-rounded, poorly-sorted, massive, and gravels oriented floating in the coarse sands; “B” interval, the middle of the sedimentary succession, is composed of gravels, which are sub-

收稿日期:2019-11-03;修回日期:2020-03-10

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX05003-001)资助

作者简介:孟旺才(1968-),男,甘肃秦安人,正高级工程师,主要从事石油地质研究。E-mail:mengwangcai@126.com

round, well-sorted, and massive bedding; “C” interval, the top of the sedimentary succession, is composed of coarse sands, which are well-sorted and normally graded bedding. The hydrodynamic conditions formed by gravel beach bar can be divided into three zones, i. e. asymmetric wave zone (A interval), breaking wave zone (B interval) and surfing wave zone (C interval).

Keywords: Qinghai lake; gravel beach bar; beach bar; sedimentary succession

油气勘探和开发实践表明,湖泊滩坝沉积体具有物性好、生储盖组合好、近油源的地质特征,因此常能形成较大规模的油气田,是中国含油气盆地中重要的储集类型之一(姜在兴等,2015;刘宝珺,1982;吴崇筠,1986;杨勇强等,2011;赵东娜等,2014;朱筱敏等,1994)。迄今在鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地和渤海湾盆地中已经发现了相当数量的含油气滩坝沉积体(纪友亮等,2013;刘强虎等,2015;罗红梅等,2011;商晓飞,2014;王永诗等,2012;吴小斌等,2013;向奎等,2008;杨西燕等,2007;宋健等,2019)。

关于湖泊滩坝沉积,前人进行了不少研究。国内外学者, AAGAARD (1990)、朱筱敏 (1994)、SOREGHAN, et al. (1996)、邬金华(1998)、宋春晖(1999)、陈世悦(2000)、HOUSER, et al. (2005)、操应长(2009)、邓宏文(2010)、SCHWARTZ(2012)、田继军(2012)、姜在兴(2015)、汤文坤(2017)等对滩坝的分类、沉积特征、地球物理特征、分布规律和成藏特征等做了较全面的研究。但上述大多数的研究对象是古代滩坝沉积体,现代沉积研究较少(杜青松,2013)。

现代是过去的钥匙。笔者在野外实地考察的基础上,通过探槽技术对青海湖东南岸现代滩坝进行平行湖岸线及垂直湖岸线精细解剖,总结砾质滩坝的沉积特征及演化序列,为古代湖盆滩坝沉积的研究提供一个类比,为中国古代陆相湖盆中滩坝沉积体的识别及分布预测提供重要依据。

1 研究区概况

青海湖是中国最大的内陆高原微咸水湖泊,其自然地质位置位于青藏高原东北缘,介于东经 $99^{\circ}36' \sim 100^{\circ}47'$,北纬 $36^{\circ}32' \sim 37^{\circ}15'$ (中国科学院,1979)。湖区由大通山、日月山、青海南山所环绕,构成西北—东南向延伸、西北高东南低的封闭式内陆断陷盆地(中国科学院,1979)。青海湖的长轴

方向(近东西向)约为106 km,横轴方向(近南北向)约为63 km,湖面海拔为 $3\,193 \sim 3\,198$ m,面积为 $4\,264 \sim 4\,473$ km²,环湖周长约360 km;湖面东西长,南北窄,呈近椭圆形,长轴北西西向约 315° ;湖水平均深度21 m,最大水深32 m,蓄水量达 100×10^9 m³左右(中国科学院,1979)(图1A)。

本次研究的湖泊滩坝沉积位于青海湖东南岸,洱海处滩坝($100^{\circ}43'54.5''\text{E}$, $36^{\circ}33'2.3''\text{N}$)(图1)。由沿岸流的作用形成湖岸线拐弯处滩坝将洱海与青海湖完全隔开,使洱海变成了一个完全封闭的泻湖(图1B)。由于青海湖目前处于湖面缩小与湖水位下降阶段(中国科学院,1979),在洱海处形成了分布广泛的、数排平行湖岸线的、正在沉积的进积型滩坝沉积体(图1B)。

2 青海湖东南岸砾质滩坝宏观沉积特征

青海湖东南岸发育了若干列平行于湖岸线的滩坝沉积,其坝体的长轴方位角均约为 43° ,滩坝长度最大可达8 km,平均约为5 km,宽度最大可达0.7 km,平均约为0.3 km,最大砂砾岩体厚度大于6 m。滩坝的几何形态呈底平顶凸的长条状(图1B)。

东南岸滩坝主要由中砾、细砾及粗砂组成;颗粒呈次圆状,分选较差—较好,发育平行层理、冲流交错层理、块状层理、正递变层理。

3 平行湖岸线剖面沉积特征

平行湖岸线剖面位于 $100^{\circ}43'23.4''\text{E}$, $36^{\circ}32'42.6''\text{N}$,方位角 49° (湖岸线方位角 51°)。剖面高约2 m,宽15 m(滩坝实际长4 800 m,高6 m,宽400 m)(图2)。

依据岩性、结构、沉积构造和纹层厚度、横向连续性、及顶底接触关系,自下而上可将平行湖岸线剖

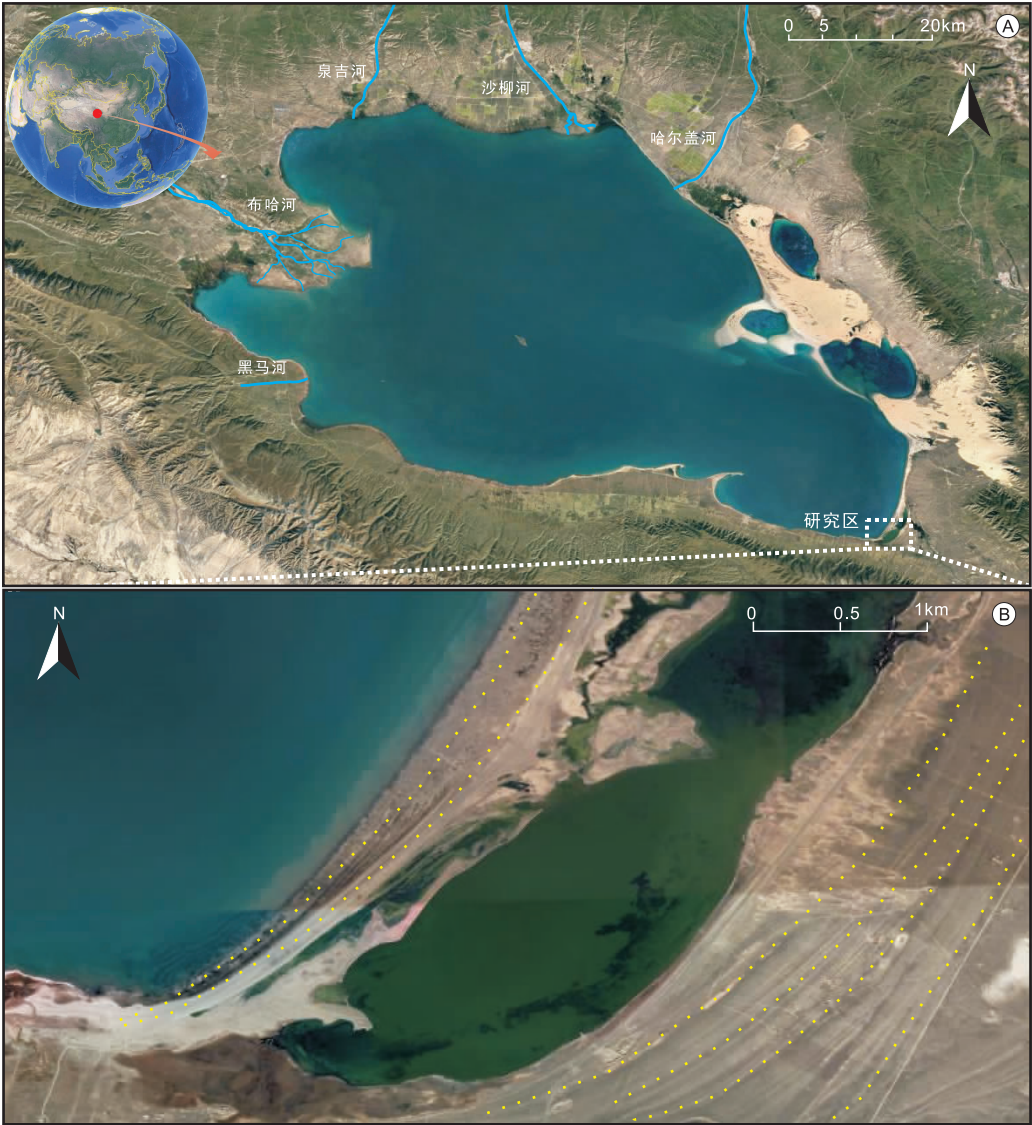


图 1 青海湖地理概况及青海湖东南滩坝分布图

Fig. 1 Geographic setting of Qinghai lake and distribution of beach-bars in the southeastern Qinghai lake

面划分出 17 个小层(图 3)。由于是平行湖岸线的剖面,各小层倾角几乎为 0,并且横向连续性较好,易于横向追踪(图 2、图 3)。大多数小层之间均为突变接触,仅 4 与 5、9 与 10、11 与 12、13 与 14、15 与 16 小层为渐变接触。17 个小层的层厚度大多数在 10 cm 左右,其中最厚的 1 和 6 小层厚度可大于 20 cm,最薄的 4、5 和 16 小层厚度小于 5 cm。各小层主要由中砾、细砾及粗砂组成,主要发育块状层理和正递变层理,其中正递变层理仅为 5、12、14 和 16 小层。在 1、3、6、8 和 17 小层中,砾石定向排列,漂

浮于粗砂中(图 3)。

通过对各个小层取样进行粒度分析,发现 17 个小层存在 2 类分选系数。一类大于 2(分选较差),一类小于 2(分选中等-较好)。分选系数大于 2 的层仅为 1、3、6、8 和 17 小层。各个小层的平均粒径不尽相同。较粗粒径层为 7、9、11、13 和 15 小层,平均粒径值均低于 -2.5ϕ ;较细的粒径层为 1、5、8 和 12 小层,平均粒径值高于 -1ϕ 。17 个小层的偏度均为正偏态,仅 1、3、6、8 和 17 小层为负偏态(图 3)。

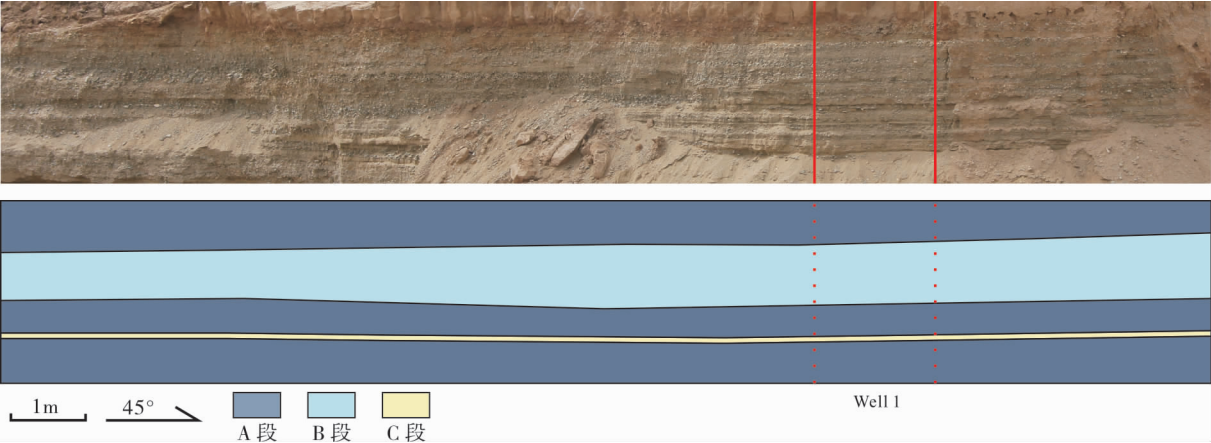


图 2 青海湖东南岸砾质滩坝平行湖岸线剖面图

Fig. 2 Profile section of gravel beach-bars in the southeastern Qinghai lake paralleled with the shoreline

通过对平行湖岸线剖面的岩性、沉积构造、粒度参数、厚度及顶底接触关系总结归纳,可以将 17 个小层分为 A、B、C 3 类。

A 类:由砾级和砂级颗粒组成,颗粒呈次圆状,分选较差,块状层理,砾石定向的漂浮在粗砂中,厚度均大于 15 cm,平均粒径处于 $-2\sim-1\text{ phi}$,分选系数大于 2,偏度为负偏态。1、3、6、8 和 17 小层均属于 A 类(图 3)。

B 类:由砾级颗粒组成,颗粒呈次圆状,分选较好,块状层理,厚度 $7\sim15\text{ cm}$,平均粒径处于 $-4\sim-1.5\text{ phi}$,分选系数小于 2,偏度为正偏态。2、4、7、9、11、13 和 15 小层均属于 B 类(图 3)。

C 类:由砂级颗粒组成,颗粒呈次圆状,分选较好,正递变层理,厚度均小于 9 cm,平均粒径处于 $-1\sim0\text{ ph}$,分选系数小于 2,偏度为正偏态。5、10、12、14 和 16 小层均属于 C 类(图 3)。

4 垂直湖岸线剖面沉积特征

垂直湖岸线剖面位于 $100^{\circ}43'24.5''\text{E}$, $36^{\circ}32'43.9''\text{N}$,方位角 315° (湖岸线方位角 51°)。剖面高约 2.5 m,宽 15 m(滩坝实际长 4 800 m,高 6 m,宽 400 m)(图 4)。

垂直湖岸线剖面主要由中砾、细砾及粗砂组成,整体为低角度冲洗交错层理,各纹层向湖方向倾角约 $4^{\circ}\sim6^{\circ}$ 。各纹层横向连续性不稳定,难以横向追踪。为更好的阐述垂直湖岸线剖面的沉积特征,首

先将垂直湖岸线剖面等间距划分出 5 个岩性柱子。Well 1、Well 2、Well 3、Well 4、Well 5(图 4、图 5),然后分别对各岩性柱子进行研究。

依据岩性、结构、沉积构造、纹层厚度、横向连续性、顶底接触关系,自下而上可将每个岩性柱子划分出大约 13 个小层,总共将 5 个岩性柱子划分出 39 个小层(图 5)。其中部分小层可横向追踪。例如,6、7、13 和 17 小层等,但小层厚度变化较大,整体趋势是向湖方向减薄。各小层厚度均在 20 cm 左右,最厚可达 60 cm,最薄可达 5 cm。各小层顶底界面多为突变。各小层横向延伸距离均在 4 m 左右,最长可达 7 m,最短可达 2 m。各小层向湖方向倾角约 $4^{\circ}\sim6^{\circ}$ 。

各小层分别由中砾、细砾及粗砂组成,颗粒呈次圆状。各小层主要为块状层理和正粒序层理。通过对岩性、结构、沉积构造、厚度、顶底接触关系及横向变化总结归纳,可将 39 个小层划分为 A、B、C 3 类。

A 类:由砾级和砂级颗粒组成,颗粒呈次圆状,分选较差,块状层理,砾石定向的漂浮在粗砂中,厚度 $5\sim60\text{ cm}$,横向宽度 $3\sim6\text{ m}$ 。1、3、5、19、27 等小层均属于 A 类(图 5)。

B 类:由砾级颗粒组成,颗粒呈次圆状,分选较好,块状层理,厚度 $5\sim40\text{ cm}$,横向宽度 $2\sim7\text{ m}$ 。6、18、20、28、31 等小层均属于 B 类(图 5)。

C 类:由砂级颗粒组成,颗粒呈次圆状,分选较好,正递变层理,厚度均小于 10 cm,横向宽度 $1\sim3\text{ m}$ 。7、23、25 小层均属于 C 类(图 5)。

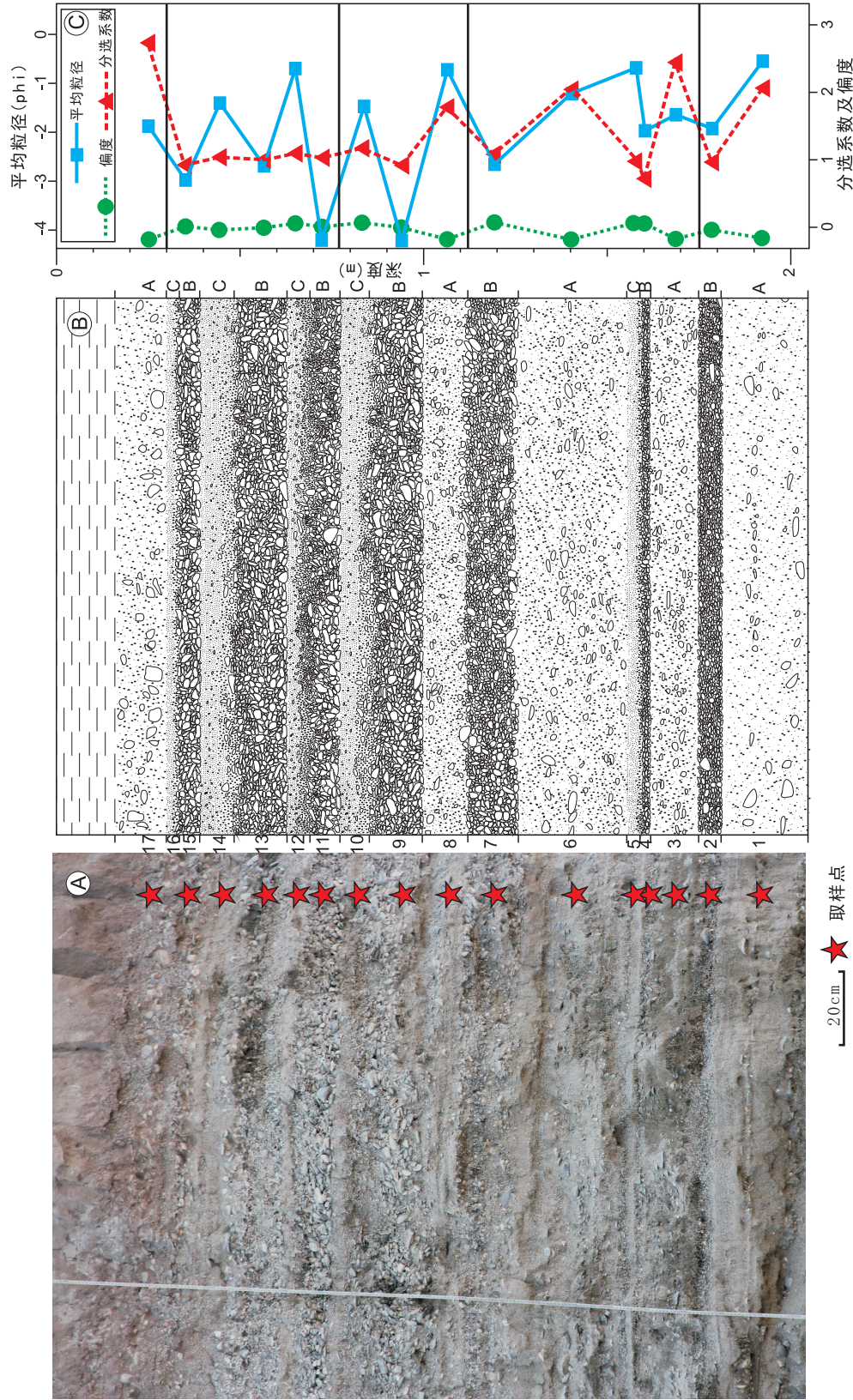


图3 青海湖东南岸砾质滩坝平行湖岸线Well1剖面照片、素描及粒度分析数据图

Fig.3 Photography, sketch, and grain-size data of profile section of gravel beach-bars in the southeastern Qinghai lake paralleled with the shoreline

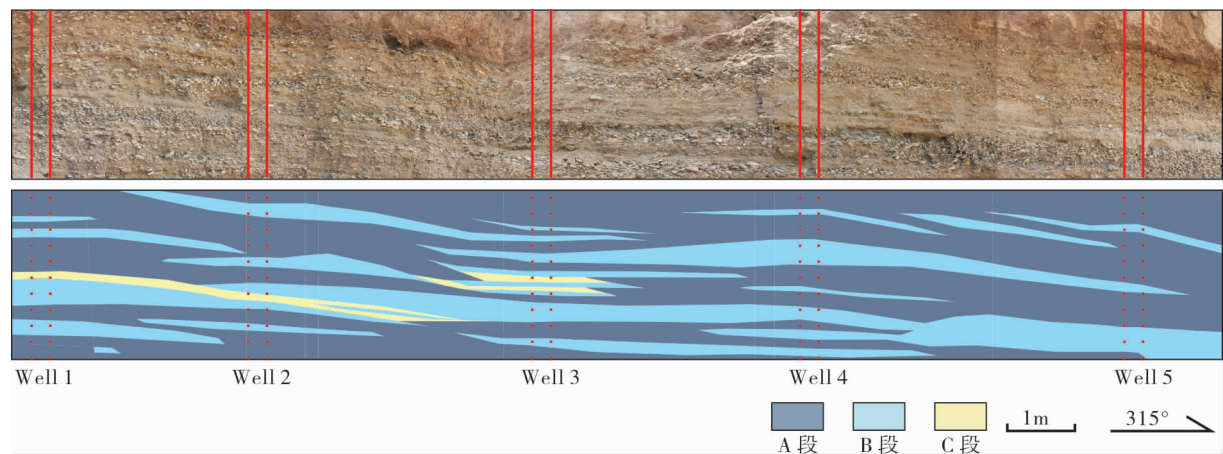


图 4 青海湖东南岸砾质滩坝垂直湖岸线剖面照片及岩性柱子位置图

Fig. 4 Profile section and wells location of gravel beach-bars vertical to the shoreline in the southeastern Qinghai lake

5 砾质滩坝沉积序列及成因解释

通过对垂直湖岸线剖面和平行湖岸线剖面的详细解剖,发现砾质滩坝具有固定的沉积序列,既“ABC”序列(图 6)。

A 段为序列的底部,由粗砂和砾石组成,颗粒呈次圆状,分选较差,块状,砾石定向的漂浮于粗砂中。

B 段为序列的中部,由砾石组成,颗粒呈次圆状,分选较好,块状。

C 段为序列的顶部,由粗砂组成,分选较好,正粒序。

在实际的砾质滩坝中,ABC 3 段常以多种组合形式呈现。例如,“ABCABC”、“BCBCBC”、“AB-ABAB”等组合方式(图 3、图 5)。

通过对青海湖正在形成的滩坝进行研究,发现平面上也同样存在“ABC”序列(图 7)。A 段位于波浪不对称带(有的地方也称之为波浪遇浅带或升浪带,即波浪浪低触及湖底、浪高上升但不足以破碎的地区),水底处波浪振荡幅度较小,能量较弱,仅能够搬运砂级颗粒,砾石在水底无法移动。笔者认为 A 段中的砾石是由间歇的风暴浪搬运过来的,风暴过后,晴天,浪无法再移动 A 段中的砾石,这样才导致 A 段分选较差,砾石定向的漂浮于粗砂中。B 段位于破浪带附近,该区域波浪破碎,扎向湖底,水体能量最强,沉积物最粗,相对较细的沉积物无法在此区域卸载,所以导致了该区域为分选较好的砾石。C 段位于冲浪带,波浪破碎后,大部分能量被消耗,但

在惯性的作用下,波浪还会冲上岸,水体能量逐渐减弱,直到能量消耗殆尽,所搬运的沉积物,从大到小依次卸载,所以导致了该区域通常为正粒序的砂岩。由于每年或每个季节、甚至每天的风速不同,导致波浪的大小也不一样,并且不同季节的湖平面也会不同,所以升浪带、破浪带和冲洗带的位置也会发生变化,这样便导致了 ABC 各段在实际的滩坝中呈各种组合的方式出现。例如,“ABCABC”、“BCBCBC”、“ABABAB”等组合方式。

6 青海湖砾质滩坝沉积模式

通过对青海湖东南岸砾质滩坝的三维解剖,包括垂直湖岸线剖面、平行湖岸线剖面和正在沉积的平面剖面,最终建立了青海湖砾质滩坝沉积模式(图 8)。

砾质滩坝形成的水动力条件可以分为 3 个带:波浪不对称带、破浪带和冲浪带(图 8)。在浪基面之上,波浪浪底开始接触湖底,由于湖底对波浪的摩擦力导致波浪发生不对称变形,此区域为波浪不对称带。波浪发生严重变形直至破碎扎向湖底,此区域即为破浪带。波浪破碎后,在惯性的作用下,湖水继续向岸移动,直至能量消耗殆尽,此区域即为冲浪带。

波浪不对称带沉积物以砂为主,常见扁平的砾质零星散布在其中。破浪带沉积物以砾石为主,分选较好。冲浪带沉积物以砂为主,常见正粒序。

随着湖平面的升降,3 个水动力带在平面上来回迁移,导致 3 个带的沉积物在垂向上相互叠置。

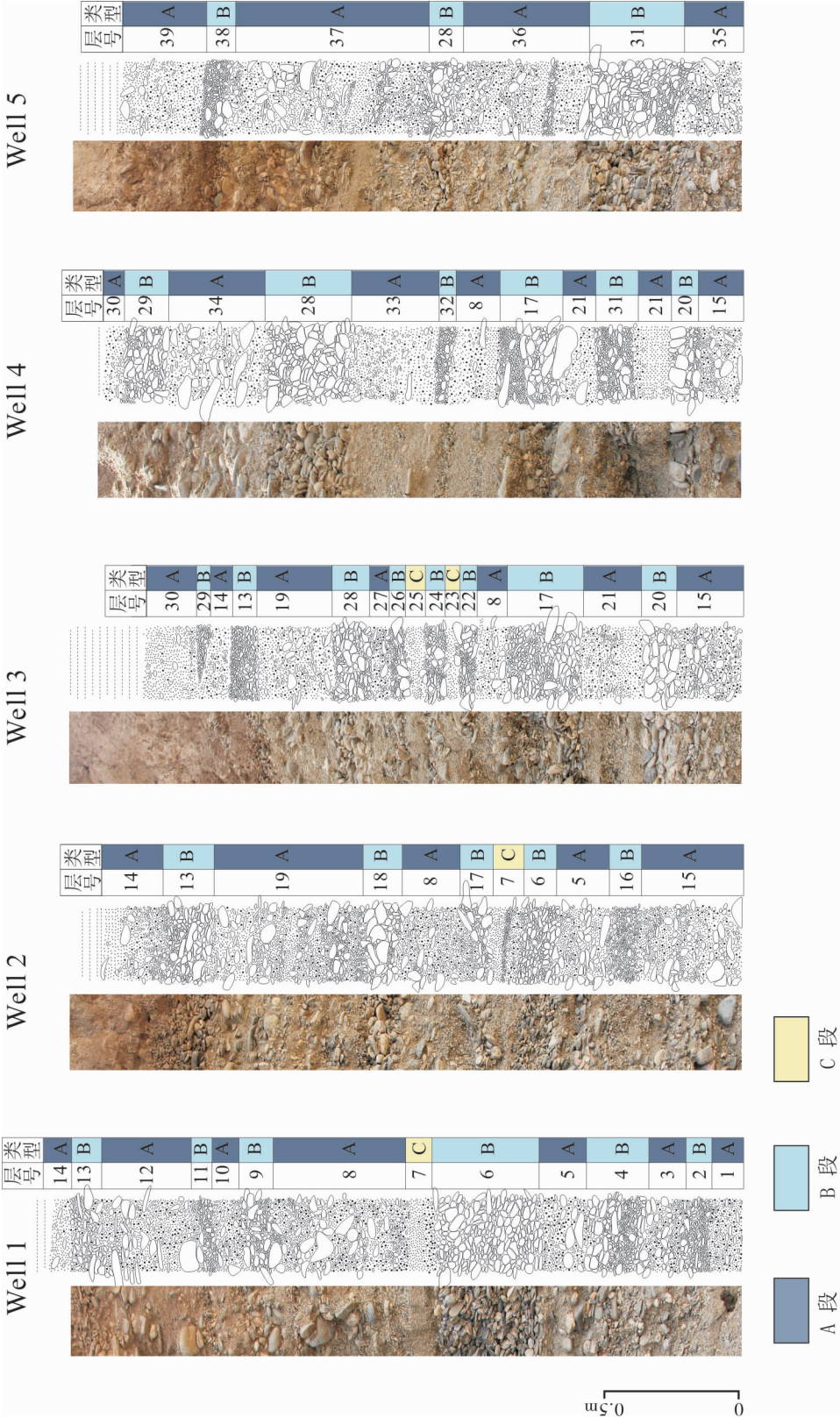


图5 青海湖东南岸砾质滩坝垂直湖岸线剖面岩性柱子照片、素描及解释图

Fig.5 Photography, sketch, and interpretation of profile section of gravel beach-bar in the southeastern Qinghai lake shoreline

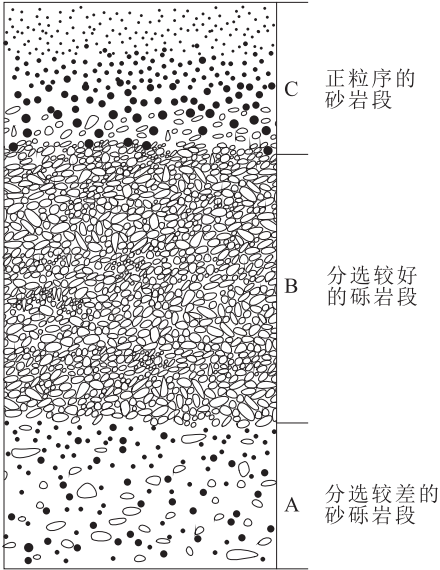


图 6 青海湖东南岸砾质滩坝沉积序列图

Fig. 6 Sedimentary succession of photomicrography, sketch, and grain-size data of gravel beach-bars in the southeastern Qinghai lake

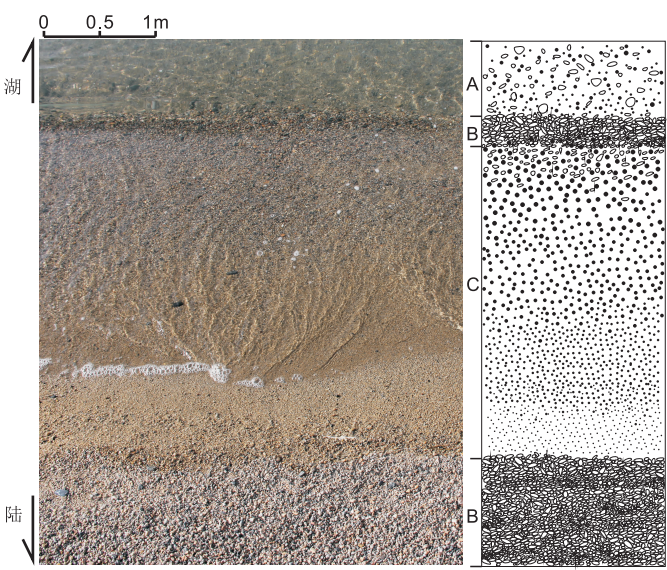


图 7 青海湖正在形成的砾质滩坝照片及素描图

Fig. 7 Photography and sketch of the forming gravel beach-bars in the southeastern Qinghai lake

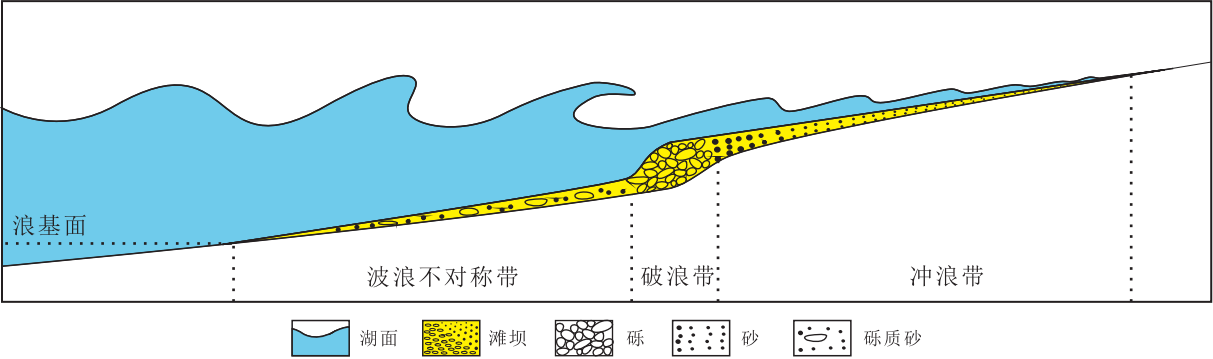


图 8 青海湖砾质滩坝沉积模式图

Fig. 8 Depositional model of gravel beach-bars in the Qinghai lake

7 结论

(1)青海湖东南岸砾质滩坝存在固定的沉积序列,即“ABC”序列。A 段为序列的底部,由粗砂和砾石组成,颗粒呈次圆状,分选较差,块状,砾石定向的漂浮于粗砂中;B 段为序列的中部,由砾石组成,颗粒呈次圆状,分选较好,块状;C 段为序列的顶部,由粗砂组成,分选较好,正粒序(图 6)。在实际的砾质滩坝中,ABC 3 段常以多种组合形式呈现。例

如,“ABCABC”、“BCBCBC”、“ABABAB”等组合方式。

(2)砾质滩坝形成的水动力条件可以分为 3 个带:波浪不对称带、破浪带和冲浪带(图 8)。波浪不对称带沉积物以砂为主,常见扁平的砾质零星散布在其中,即为“A 段”;破浪带沉积物以砾石为主,分选较好,即为“B 段”;冲浪带沉积物以砂为主,常见正粒序,即为“C 段”。

湖盆砾质滩坝沉积序列的提出为中国陆相含油气盆地滩坝储集体的识别提供重要依据。

参考文献(References):

- 纪友亮,卢欢,刘玉瑞. 苏北盆地高邮凹陷古近系阜宁组一段浅水三角洲和滩坝沉积模式[J]. 古地理论,2013,15(05):729-740.
- JI Youliang, LU Huan, LIU Yurui. Sedimentary model of shallow water delta and beach bar in the Member 1 of Paleogene Funing Formation in Gaoyou sag, Subei Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2013, 15 (05): 729-740.
- 姜在兴,王俊辉,张元福. 滩坝沉积研究进展综述[J]. 古地理论,2015,17(04):427-440.
- JIANG Zaixing, WANG Junhui, ZHANG Yuanfu. Advances in beach-bar research: A review[J]. Journal of Palaeogeography, 2015,17(04):427-440.
- 汤文坤,王永,董进,等. 海南北部近2000年气候环境变化——来自双池玛珥湖高分辨率沉积记录[J]. 西北地质,2017,50(01):291-300.
- TANG Wenkun, WANG Yong, DONG Jin, et al. High Resolution Paleoenvironmental Evolution Revealed by a Lacustrine Sediment Sequence in Shuangchi Maar Lake during Past 2000 Years in North Hainan Island [J]. Northwestern Geology, 2017,50(01):291-300.
- 刘宝珺. 海相陆源地层的环境分析[J]. 中国区域地质,1982(01):32-43.
- LIU Baojun. Environmental analysis of marine terrigenous strata [J]. Regional Geology of China, 1982(01):32-43.
- 刘强虎,朱红涛,舒誉,等. 珠江口盆地恩平凹陷古近系恩平组物源体系及其对滩坝的控制[J]. 石油学报,2015,36(03):286-299.
- LIU Qianghu, ZHU Hongtao, SHU Yu, et al. Provenance systems and their control on the beach-bar of Paleogene Enping Formation, Enping sag, Pearl River Mouth Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2015,36(03):286-299.
- 罗红梅,朱毅秀,穆星,等. 渤海湾渤南洼陷深层湖相滩坝储集层沉积微相预测[J]. 石油勘探与开发,2011,38(02):182-190.
- LUO Hongmei, ZHU Yixiu, MU Xing, et al. Seismic facies prediction of lacustrine beach and bar reservoirs in the deep zone of the Bonan Subsag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(02):182-190.
- 商晓飞,侯加根,孙福亭,等. 砂质滩坝储集层内部结构特征及构型模式——以黄骅拗陷板桥油田古近系沙河街组为例[J]. 石油学报,2014,35(06):1160-1171.
- SHANG Xiaofei, HOU Jiagen, SUN Futing, et al. Architectural characteristics and sedimentary models of beach-bar sandstone reservoirs: a case study of the Paleogene Shahejie Formation in Banqiao oilfield, Huanghua depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014,35(06):1160-1171.
- 王永诗,刘惠民,高永进,等. 断陷湖盆滩坝砂体成因与成藏:以东营凹陷沙四上亚段为例[J]. 地学前缘,2012,19(01):100-107.
- WANG Yongshi, LIU Huimin, GAO Yongjin, et al. Sand-body genesis and hydrocarbon accumulation mechanism of beach-bar reservoir in faulted-lacustrine basins: A case study from the upper of the fourth member of Shahejie Formation, Dongying Sag [J]. Earth Science Frontiers, 2012,19(01):100-107.
- 吴崇筠. 湖盆砂体类型[J]. 沉积学报,1986(04):1-27.
- WU Chongjun. Type of sand body in Lacustrine Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1986(04):1-27.
- 吴小斌,侯加根,王大兴,等. 基于青海湖现代沉积对港中油田沙一段滩坝沉积微相的研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2013,28(05):31-38+4-5.
- WU Xiaobin, HOU Jiagen, WANG Daxing, et al. Study on sedimentary microfacies of beach-bar sand of the first member of Shajiehe Formation in Gangzhong Oilfield based on the modern Qinghai Lake deposition [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2013,28(05):31-38+4-5.
- 向奎,鲍志东,庄文山. 准噶尔盆地滩坝砂石油地质特征及勘探意义——以排2井沙湾组为例[J]. 石油勘探与开发,2008(02):195-200.
- XIANG Kui, BAO Zhidong, ZHUANG Wenshan. Petroleum geology and exploration of beach sandbar in Junggar Basin, NW China: A case from the Shawan Formation in Well Pai 2 [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008(02):195-200.
- 杨西燕,沈昭国,方少仙,等. 鄂尔多斯盆地乌审旗气田中二叠统下石盒子组盒8段下亚段滩坝砂体沉积特征[J]. 古地理论,2007(02):175-183.
- YANG Xiyan, SHEN Zhaoguo, FANG Shaoxian, et al. Sedimentary characteristics of beach and bar sandbodies in the lower submember of Member 8 of Xiashihezi Formation of Middle Permian in Wushenqi Gasfield, Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2007(02):175-183.
- 宋健,孟旺才,邓南涛,等. 鄂尔多斯盆地富-黄地区延长组储层特征及物性影响因素分析[J]. 西北地质,2019,52

- (01):98-108.
- SONG Jian, MENG Wangcai, DENG Nantao, et al. Features and Influencing Factors of Yangchang Formation Reservoir in Fuxian-Huangling Exploration Area, Erdos Basin [J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(01):98-108.
- 杨勇强, 邱隆伟, 姜在兴, 等. 陆相断陷湖盆滩坝沉积模式——以东营凹陷古近系沙四上亚段为例[J]. *石油学报*, 2011, 32(03):417-423.
- YANG Yongqiang, QIU Longwei, JIANG Zaixing, et al. A depositional pattern of beach bar in continental rift lake basins; A case study on the upper part of the fourth member of the Shahejie Formation in the Dongying Sag [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(03):417-423.
- 赵东娜, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 地震沉积学在湖盆缓坡滩坝砂体预测中的应用——以准噶尔盆地车排子地区下白垩统为例[J]. *石油勘探与开发*, 2014, 41(01):55-61.
- ZHAO Dongna, ZHU Xiaomin, DONG Yanlei, et al. Application of seismic sedimentology to prediction of beach and bar sandbodies in gentle slope of lacustrine basin; A case study of the Lower Cretaceous in Chepaizi area, Junggar Basin, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2014, 41(01):55-61.
- 杜青松, 常诗楠, 李志华, 等. 全新世以来岱海湖泊沉积与环境演变[J]. *西北地质*, 2013, 46(03):140-147.
- DU Qingsong, CHANG Shinan, LI Zhihua, et al. Holocene Lake Sediments and Environmental Changes in Daihai [J]. *Northwestern Geology*, 2013, 46(03):140-147.
- 中国科学院. 青海湖综合考察报告[R]. 1979.
- Chinese Academy of Sciences. Qinghai Lake comprehensive investigation report[R]. 1979.
- 朱筱敏, 信荃麟, 张晋仁. 断陷湖盆滩坝储集体沉积特征及沉积模式[J]. *沉积学报*, 1994(02):20-28.
- ZHU Xiaomin, XIN Quanlin, ZHANG Jinren. Sedimentary characteristics and model of beach bar reservoir in faulted lake basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994(02):20-28.
- AAGAARD T. Infragravity waves and nearshore bars in protected, storm-dominated coastal environments [J]. *Marine Geology*, 1990, 94(3):181-203.
- SOREGHAN M J, COHEN A S. Textural and compositional variability across littoral segments of Lake Tanganyika: the effect of asymmetric basin structure on sedimentation in large rift lakes [J]. *AAPG Bulletin*, 1996, 80(3):382-408.
- HOUSER C, GREENWOOD B. Hydrodynamics and sediment transport within the inner surf zone of a lacustrine multiple-barred nearshore [J]. *Marine Geology*, 2005, 218(1-4):37-63.
- SCHWARTZ R K. Bedform, texture, and longshore bar development in response to combined storm wave and current dynamics in a nearshore helical flow system [J]. *Journal of Coastal Research*, 2012, 28(6):1512-1535.