

青海湖现代沉积对岩性油气藏精细勘探的启示

师永民¹ 董 普² 张玉广³ 何 勇⁴ 胡新平⁵

(1.北京大学地球与空间科学学院 2.中国地质大学·北京 3.中国石油大庆采油工程研究院
4.中国石油吐哈油田公司勘探开发研究院 5.中国石油新疆油田公司采油三厂)

师永民等.青海湖现代沉积对岩性油气藏精细勘探的启示.天然气工业,2008,28(1):54-57.

摘 要 应用“将今论古”的辩证思维观,对青海湖开展了现代沉积研究。结果认为:从湖盆周边剥蚀区至湖泊沉积中心发育有各种类型的河流沉积体系、三角洲沉积体系、扇三角洲沉积体系、潟湖沉积体系、风成沙沉积体系、水下扇沉积体系,丰富的滩坝沉积体系、滨浅湖沉积体系以及深湖、半深湖沉积体系;地形、地貌、气候、断裂构造与水流决定着沉积体系展布的规模、形态和沉积相带边界及砂体分布。进而总结出了不同环境下各种沉积体系成因分布和储层展布规律,并借鉴现代沉积模式和成因机制,恢复古代含油气盆地沉积原貌,建立了沉积体系和砂体分布的预测模型。以期指导对该区复杂岩性油气藏的精细勘探。

主题词 青海湖 现代沉积 岩性油气藏 精细勘探

青海湖是我国内陆最大的微咸水湖泊,位于青藏高原东北部青海省境内。湖区被大通山、日月山和青海南山所环绕。湖泊面积 4635 km²,平均水深 18.4 m,最大水深 28.7 m,蓄水量 854×10⁸ m³。湖面海拔在 3200 m 以上,人烟稀少,人为改造和污染较少,是研究现代湖盆沉积的良好场所。湖泊形状近似菱形,长轴方向呈北西西向,长轴长 106 km,短轴长 63 km,湖泊周长 360 km,为一个北西—南东向延伸,北西高、南东低的新生代断陷湖泊(图 1)。

一、构造特征与湖盆演化

1.青海湖构造特征

青海湖是第四纪初距今 2 Ma 以来形成的一个不对称地堑式断陷湖泊。区域构造背景处在南祁连槽向斜(加里东期)的东南部,东部和北部已跨入中

祁连槽背斜带(前震旦纪),南部紧临青海南山槽向斜(海西期)(图 2)。系发育在南祁连南缘区域性深大断裂带上的湖泊,其形成与演化受区域性深大断裂的控制,因而使湖盆地貌形态呈长条形不对称状态展布。湖盆周缘均为断裂所限,其主要受北西西向、北北西向和近南北向 3 组断裂构造格局所控制。青海湖的基本构造格局为两拗一隆:南部拗陷、北部拗陷和中央隆起。其中南部拗陷沉降幅度大,构成不对称地堑式断陷湖盆的基本构造面貌(图 2)。

2.湖盆演化

湖盆的形成与演化经历了新构造断陷期、河湖共存期、全盛期和萎缩期 4 个阶段。①第四纪初,区内发生一次强烈块断差异升降运动,使青海湖构造洼地进一步下沉,形成断陷盆地。②随着新构造差



图 1 青海湖 TM 影像图(1989 年)

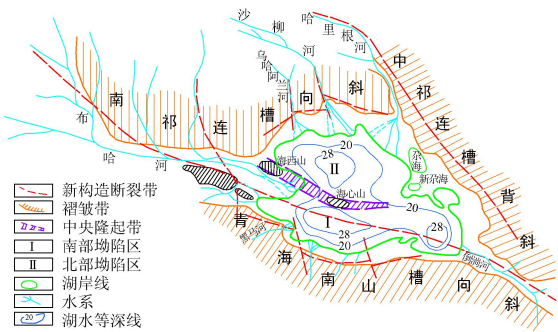


图 2 青海湖新构造略图

作者简介:师永民,1966 年生,研究员;1990 年毕业于原西南石油学院石油地质专业;现在北京大学地球与空间科学学院从事石油地质和油气藏开发等研究工作,已出版专著 1 部、发表论文 40 余篇。地址:(100083)北京市海淀区林大北路 18 号 2 号楼 1 单元 404 室。电话:(010)82367404,13466608831。E-mail:shiyongmin119@163.com

异上升运动,青海湖形成之初,曾经是一个外泄湖,亦即在早、中更新世时有过河湖共存阶段,湖盆当时基本面貌为南北较窄,而东西较长,湖水较浅。③中晚更新世时,由于东部日月山和南部青海南山的强烈隆起,湖泊日益封闭,尤其是在中—晚更新世二郎尖组沉积时,一方面,随着湖盆闭塞状况日益显著,导致水位上升;另一方面,众所周知,中国西部山区中更新世晚期是一次气候最温暖的大间冰期,当时气候温暖潮湿,水源充足,导致水位上升,青海湖从浅水湖泊相过渡为较深水湖相,进入了湖泊发展的全盛时期,湖面扩大,据推测当时的古青海湖湖面范围比目前约大三分之一,水位高出现在湖面 100 m 左右。④全新世以来,处于强烈构造运动中,周围山地继续上升,随着气候由比较湿润逐渐转为半干旱,导致青海湖水位持续下降,开始了大规模的湖退过程,使湖泊发展进入萎缩期。

二、沉积体系与相带展布

据水系分布和沉积环境特征,将青海湖碎屑岩堆积划分为 6 大沉积体系、9 种沉积相类型、13 种沉积亚相、21 种沉积微相类型(图 3)。

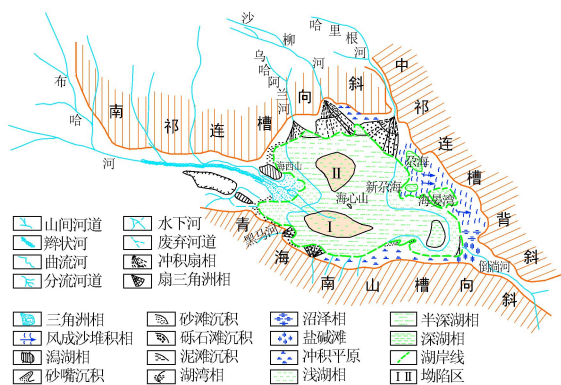


图 3 青海湖沉积体系展布图

1. 西部辫状河—曲流河—三角洲—水下河—深湖相沉积体系

在湖盆长轴方向西端布哈河水系源远流长,发育有辫状河—曲流河—三角洲—水下河—深湖相沉积体系,沉积规模最大。

辫状河分布在布哈河的上流和沙柳河中上流。河道宽浅,水流湍急。主河道流量大,流速高,常年流水,沉积物粗。浅河道流量小,流速缓,沉积物以细砾粗砂为主,有时河道干涸。河床中砾石定向排列呈叠瓦状,最大扁平面指向河流上流方向,倾角较大,长轴平行水流分布。这一点为判断古水流方向提供了重要依据。边滩沉积规模较小,发育程度比

曲流河差。心滩发育,呈不对称梭形,滩头为沙和砾较粗沉积物;滩尾为沙和泥较细沉积物,垂向上以加积为特征,下部为砂,砾层,砾石大小不均,可见粗糙斜层理和交错层理;上部粉砂与泥质互层,粉砂呈透镜状,分布不稳定,发育平行层理,微细交错层理,其上小灌木生长繁茂。形成两个正旋回,旋回之间有砾石冲刷面,多为叠加砂层。

曲流河发育在布哈河的中下游。属中弯度曲流河,以侧向加积为特征。垂向上表现为正粒序层,具有二元结构,下部为含砾砂岩层,可见斜层理和交错层理;上部为泥质粉砂岩层,厚度不稳定,呈透镜状,平行层理较为发育。上、下层之间有砾石夹层存在。在布哈河中游地区由于曲流河被截弯取直而形成牛轭湖,沉积物主要为粉砂及黏土,粉砂呈透镜状,可见交错层理和水平层理。

布哈河是注入青海湖的最大河流,年平均流量 $25 \text{ m}^3/\text{s}$,雨季多有洪水,巨大的水量携带大量的泥沙在河口沉积,从而形成一个伸向湖中长达 13 km、面积 120 km^2 的鸟足状三角洲。三角洲平原曲流河段河床弯曲程度较大,发育有河边滩、河心滩及河漫滩微相。河道废弃时,上部突变为漫流充填的黏土沉积。分流河道亚相位于曲流河段以下,靠近湖面附近,地势相对平坦,流速进一步减慢,河道不断进行分叉伸向湖中,它和曲流河段一起构成了鸟足状三角洲平原相沉积的基本骨架。三角洲前缘是三角洲在湖平面以下平缓部分,向湖中延伸 1~3 km,形成水下分流河道。这里水深不超过 7 m。河流入湖处呈喇叭口状,湖浪与河浪相互干涉,形成干涉波痕。河流携带的大量泥沙在入湖处快速堆积,形成河口砂坝,在河口较远处堆积形成远砂坝。分支河道外侧低洼地区,排水不良,为一停滞的还原环境,其沉积物为灰黑色有机质黏土,夹有洪水成因的纹层状粉砂。布哈河三角洲的增长和向湖方向的推进速度很快,据统计,每年向湖中延伸 200 m。昔日的海西山、鸟岛等孤岛已与三角洲相连,成为了半岛。

布哈河从宽约 20 m 的河道流入广阔的湖面时,犹如一个巨大的“喷嘴”将河水注入湖中,形成水下河道,向湖中一直延伸到 13 km 处的 28 m 深湖区,随着水流速度向湖中逐渐减小,粗砂迅速沉积,细砂和粉砂则被射流继续携带,到了水流速度减缓的前端和两侧,才逐渐沉积下来,形成粉砂和泥质粉砂。

2. 风成沉积体系

沿盆地长轴方向东北端季风盛行,湖泊萎缩后暴露在地表的松散沙粒经风的作用,吹扬起来并向

东南方向输送,在受到湖盆东部日月山等高山阻挡后沙粒便停落下来,从而造成风成沙堆积,形成规模宏大的风成沉积体系。风成砂堆积成外貌呈新月型或链状金字塔形沙丘与沙山。湖环境中的风成砂堆积相不同于沙漠环境下的沉积,在其他现代湖泊也不多见,占湖盆面积的1/5。集中分布在湖东岸滨湖平原和湖西岸滨岸带上。

滨海沙丘分布于湖西岸海西山北面,平行于湖岸方向呈带状展布,宽2 km,长可达12 km。沉积物为细粉砂,分选性、磨圆度均较好。滨岸沙丘形态呈新月型沙丘和新月型沙丘链,迎风坡向湖一侧坡度缓。在迎风坡发育风成波痕,形状不对称。

3. 潟湖沉积体系

青海湖目前处于萎缩阶段。在湖盆东部广阔的滨湖平原上,由于湖泊萎缩,潟湖发育,形成大大小小的潟湖相沉积体系,尕海、新尕海为2个封闭潟湖,进一步咸化。海晏湾潟湖处于半封闭状态,广湖与潟湖之间有一通道相连,使之与广湖进行水质交换。位于湖东端的耳海为一个淡化潟湖,一端发育砂坝使之与广湖隔绝,另一端有来自日月山中倒淌河河谷奔流而下的淡水注入潟湖(图3)。

4. 扇三角洲沉积

湖盆南北短轴方向,北岸较缓,形成山间河道—辫状河—洪积扇—扇三角洲—滨浅湖沉积体系。陆上扇三角洲亚相包括洪积扇扇缘、辫状冲积河道、沼泽和泛滥平原相。水下扇三角洲发育于浅湖至半深湖区。垂向序列下部泥质粉砂与砂砾层组成,发育交错层理和水平层理;过渡带砂层与砂砾层互层,砂砾层分布不稳定,呈凸镜状;上部由砾石与砂层组成,可见平行层理和交错层理。

5. 水下扇沉积体系

南岸较陡,河流出口后很快入湖,形成南岸水下扇沉积体系,由于水系较小,沉积规模不大(图3)。在青海湖这个山间断陷湖盆南岸山麓平原上,发育有完整的水下扇,形成大大小小的水下扇群。扇根位于山前带靠近山口,与山间河道相连,地势较高,海拔在3400 m左右,沉积物以粗碎屑砾石沉积为主,砾石大小混杂,分选差,呈次棱角状。扇中即广阔的冲积平原,地势相对平坦,季节性流水部位为辫状流,具有洪积和河流双重特征,沉积物以砾石为主,沉积层具粗糙平行层理和洪积层理,砾石群定向构造和砾石定向排列,最大扁平面倾向于河流上游方向。扇缘是扇的最外部或下部,其坡度是水下扇中最缓,最小部分。河道属十分浅的分散体系,也是水下扇前

缘地下水溢出带,形成地表积水、沼泽及砾石泥滩。

6. 滨浅湖沉积体系

青海湖目前处于萎缩阶段,滨浅湖地带地形复杂,经受强大的沿岸流和波浪作用,形成规模宏大,形态各异的滨浅湖和滩坝沉积体系,砂嘴、沿岸砂坝、远砂坝、泥坪、沼泽、砂坪、砾石滩、鲕粒滩和碎屑岩与碳酸盐形成的混合滩地沿滨浅湖地带广泛分布(图3)。滨浅湖环境分布于水深0~15 m,水动力复杂,各种亚相的形成与湖流、湖浪、物源和湖岸地形等关系密切,因而沉积类型复杂多样。湖湾亚相是由沿岸砂嘴、砂坝等的遮挡作用,使近岸湖水受到限制而产生的,可进一步分为高能砂质沉积的湖湾和低能泥质沉积的湖湾。低能泥质湖湾沉积物为黑色粉砂质泥,垂向剖面上水平层理及水平薄纹层理发育。泥坪分布于湖湾和湖岸地形平缓以及岸后沼泽等湖水滞流地带。沉积物由黑色淤泥、粉砂和泥质粉砂组成,垂向层序常为灰黄色黏土质粉砂与黑色腐泥互层,反映了湖水的多次波动。砂质湖滩分布于湖岸开阔湖岸的滨湖区,砂质物源供应充分,击浪带的冲刷、筛选和淘洗,使中细砂成熟度增高,分选性好,磨圆度高。向湖一侧粒度变细。砾石质湖滩分布于湖西南陡岸,湖浪作用强,近物源河流砾石供应充分,形成砾石滩沉积。

环湖滨岸带沿岸砂坝分布较广,这里湖岸开阔,物源供应充分。击浪带、回流带、缓冲带、破浪带对沉积物冲刷、淘洗,结果造成下细上粗的反粒序结构,沉积层序向湖倾斜,发育交错层理、斜层理和平行层理。沉积物为细砾粗砂,分选性好,磨圆度高。由于湖水含盐度高,露出水面近地表的松散沉积物与湖水相互接触,将湖水输送到近地表蒸发,起到一个蒸发泵作用,使湖水中的盐分及其他矿物质不断浓缩,使砂砾固结成硬岩块,俗称钙质砂岩。砂体形态平直岸型分布,延伸长达70多千米,向湖一侧坡度缓,背湖一侧坡度陡。砂嘴沉积主要分布在湖东南岸,著名的二郎尖就是典型的砂嘴沉积。一端与岸相连,另一端与岸形成一定夹角,不断向湖中延伸达数公里。这里沿岸流作用强烈,中细砂质物源供应充分,与湖岸斜交的湖浪在向岸传播过程中,遇到凸出地形,单波就分解为相互斜交的2个波向砂嘴前端传播过来,将携带物堆积在尖头。

三、沉积体系成因与储层展布规律

1. 水系与沉积体系分布

水系的不对称分布导致沉积体系分布的不对称

性分布。注水青海湖的河流约 50 多条,其中多为季节性间歇河流。在南北两岸及东西两岸各呈明显的不对称分布,湖北岸及西岸的河流源远流长,汇水面积大,流量亦大。湖东岸及南岸河流为近源河流,汇水面积小,流量亦小。年地表总径流量 $15.35 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中较大河流有布哈河、乌哈阿兰河、沙柳河、哈里根河、倒淌河及黑马河等 6 条,占入湖地表水径流量的 83% (图 1)。

2. 水系分布和沉积相展布

断裂构造和沉积相的展布是密切相关、相辅相成、互为条件、互为因果的。在三角洲相带上,断裂构造格局直接控制着沉积相在平面上的展布形态,特别是主水流展布方向和规模,断层发育的部位也是主水流存在的地方,且二者是一致或近于一致的。

3. 构造与沉积空间展布

构造与沉积的空间展布规律常具有较好的一致性和继承性。在同一构造或次一级构造层内,它们的岩相类型可能发生变化,但其空间位置及延伸方向基本保持不变,或呈有规律性变化,它们受主干断层活动强度控制。

4. 断裂活动强度与沉积展布

主断裂活动强度与演化控制着沉积体系的发育位置、规模大小和迁移方向。断裂系统控制着主水系,且断层走向与河流走向基本一致。

四、对岩性油气藏精细勘探的启示

(1) 青海湖现代沉积研究表明,断裂构造影响着水系分布,水系又决定着沉积体系展布。可以借鉴这种现代湖盆沉积模式及成因机制,在古代陆相含油气盆地中利用断裂构造线索推断沉积体系展布及相带边界。

(2) 总结不同环境下沉积体系和相带展布的差异,建立沉积体系和储层分布预测模型,借鉴现代沉积模式,恢复古代含油气盆地沉积原貌,可用于地下相研究,提高储层预测的精度。

(3) 青海湖目前处于萎缩阶段,在滨浅湖地带发育着各种各样的沉积储层类型(如砂嘴、沿岸砂坝、远砂坝、席状砂、沙滩、鲕粒滩等),分布面积广,储层条件好,又紧邻深湖、半深湖生油区,是形成岩性油气藏的良好场所。可以看出,湖相滩坝沉积是寻找隐蔽油气藏的重要方向。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院兰州地质研究所. 青海湖综合考察报告[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1-22.
- [2] 中国科学院兰州分院, 中国科学院西部资源环境研究中心. 青海湖近代环境的演化和预测[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 68-259.
- [3] 陈克造, BOWLER J M, KELTS K. 四万年来青藏高原的气候变迁[J]. 第四纪研究, 1990 (1): 21-31.
- [4] 师永民, 王新民, 宋春晖. 青海湖湖区风成沙堆积[J]. 沉积学报, 1996, 14 (增刊): 234-240.
- [5] 王新民, 宋春晖, 师永民, 等. 青海湖现代沉积环境与沉积相特征[J]. 沉积学报, 1997, 15 (增刊): 157-162.
- [6] 师永民, 王新民, 晁吉俊, 等. 西部断陷型湖盆沉积特征——以青海湖为例[C]// 第五届全国沉积学及岩相古地理学学术会议论文集. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1997: 51-54.
- [7] 师永民, 王新民, 晁吉俊. 青海湖环境演化与可持续发展[M]// 资源环境科学与可持续发展技术(中国科协第三届青年学术年会论文集). 北京: 中国科学技术出版社, 1998: 406-409.
- [8] 宋春晖, 王新民, 师永民, 等. 青海湖现代滨岸沉积微相及其特征[J]. 沉积学报, 1999, 17 (1): 51-57.
- [9] 师永民, 霍进, 张玉广. 陆相油田开发中后期油藏精细描述[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 84-87.
- [10] 宋春晖, 方小敏, 师永民, 等. 青海湖西岸风成沙丘特征及成因[J]. 中国沙漠, 2000, 20 (4): 443-446.
- [11] 宋春晖, 方小敏, 师永民, 等. 青海湖现代三角洲沉积特征及形成控制因素[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2001, 37 (3): 112-120.
- [12] 边千韬, 刘嘉麒, 罗小全, 等. 青海湖的地质构造背景及形成演化[J]. 地震地质, 2000, 22 (1): 20-26.
- [13] JACKSON C A L, GAWTHORPE R L, CARR I D, et al. Normal faulting as a control on the stratigraphic development of shallow marine syn-rift sequences: the Nukhul and Lower Rudeis Formations, Hammam Faraun fault block, Suez Rift, Egypt[J]. Sedimentology, 2005, 52 (2): 313-338.
- [14] ZHAO YINGCHENG, ZHOU XIAOFENG, SHI YONGMIN, et al. Integrated prediction of low cretaceous complicated reservoirs in Qingxi oil field[J]. Natural Gas Industry, 2005: 124-127, 13-14.
- [15] 师永民, 陈广坡, 潘建国, 等. 储层综合预测技术在塔里木盆地碳酸盐岩中的应用[J]. 天然气工业, 2004, 24 (12): 51-53.

参加研究的还有中国石油勘探开发研究院王新民教授、晁吉俊高级工程师和兰州大学宋春晖教授, 在此表示感谢。

(修改回稿日期 2007-11-15 编辑 居维清)