

文章编号: 1009-3850(2008)01-0014-06

同沉积断裂构造对沉积相展布的控制 ——以黄河口凹陷沙三中亚段沉积相研究为例

郭 涛¹, 辛仁臣¹, 刘 豪¹, 周心怀²

(1. 中国地质大学 海洋学院, 北京 100083; 2. 中海石油(中国)有限公司 天津分公司技术部, 天津 塘沽 300452)

摘要: 研究表明, 黄河口凹陷沙河街组三段中亚段发育的沉积相类型有辫状河三角洲相、扇三角洲相、湖底扇相和湖泊相。同沉积断裂特征对沉积具有控制作用, 陡坡带活动盆缘断裂控制扇三角洲的分布, 缓坡带活动盆缘断裂控制辫状河三角洲分布; 二级断裂对湖底扇和深水沉积区有明显的控制作用, 东部断阶带中部发育的 E_{20} 东西向同沉积断裂, 控制了物源的主要注入通道——沟谷, 对东部物源的注入具有长期影响。

关键词: 黄河口凹陷; 沉积特征; 同沉积断裂; 二级断裂

中图分类号: TE121

文献标识码: A

含油气盆地沉积特征研究是油气资源预测的重要基础, 长期以来受到石油地质学家和石油地质工作者普遍关注。通过层序地层学研究盆地沉积特征是一种近年来兴起的技术手段, 在年代地层格架中预测砂体形成与沉积相展布是确定隐蔽圈闭的主要方法; 然而陆相地层往往遇到与源于被动陆缘的层序模式不尽一致的情况。我国许多学者已普遍认识到陆相层序的特殊性^[1~5], 并认为构造(作用)具控制意义, 因此, 构造地层分析与层序地层分析相结合成为盆地研究的主要趋势之一。

黄河口凹陷是渤海海域的重要富生烃凹陷(郝芳等, 2005), 具有良好的油气潜力, 开展分层段的沉积特征研究, 对于加快黄河口凹陷的油气勘探具有重要意义。本文以构造控制沉积的思路入手, 对黄河口凹陷沙河街组三段中亚段构造特征以及沉积相展布进行分析, 并探讨构造对沉积的控制作用。

1 地质背景

黄河口凹陷位于渤海湾盆地渤中坳陷南部, 北部为渤南凸起, 东部为庙西凹陷, 东南部为莱北低凸起, 南部为垦东青坨子凸起, 西部为埕北凹陷(图 1)。渤中坳陷在新生代以来表现为断陷和拗陷叠置结构, 其构造演化具有多幕裂陷、多旋回叠加、多成因机制复合的特征, 经历了古近纪裂陷沉降阶段和新近纪—第四纪裂陷后热沉降阶段, 基本完成了一个完整的裂陷作用旋回(蔡东升等, 2001^[3]; 侯贵廷等, 1998)。古近纪裂陷作用具有幕式渐进发展的特征, 进一步可划分为 4 个裂陷伸展期, 分别与孔店组、沙四段、沙三段、沙二段、沙一段、东营组沉积时期相对应(蔡东升等, 2001)^[3]。

2 沉积相类型及其特征

通过大量岩心观察描述和沉积相分析, 结合地

收稿日期: 2007-09-12 改回日期: 2007-11-04

作者简介: 郭涛(1982—), 男, 硕士, 主要从事沉积学与储层预测研究。Email: lx0823@163.com

资助项目: 国家自然科学基金重点基金“新构造运动对渤中巨型油气系统的控制”(40238059)

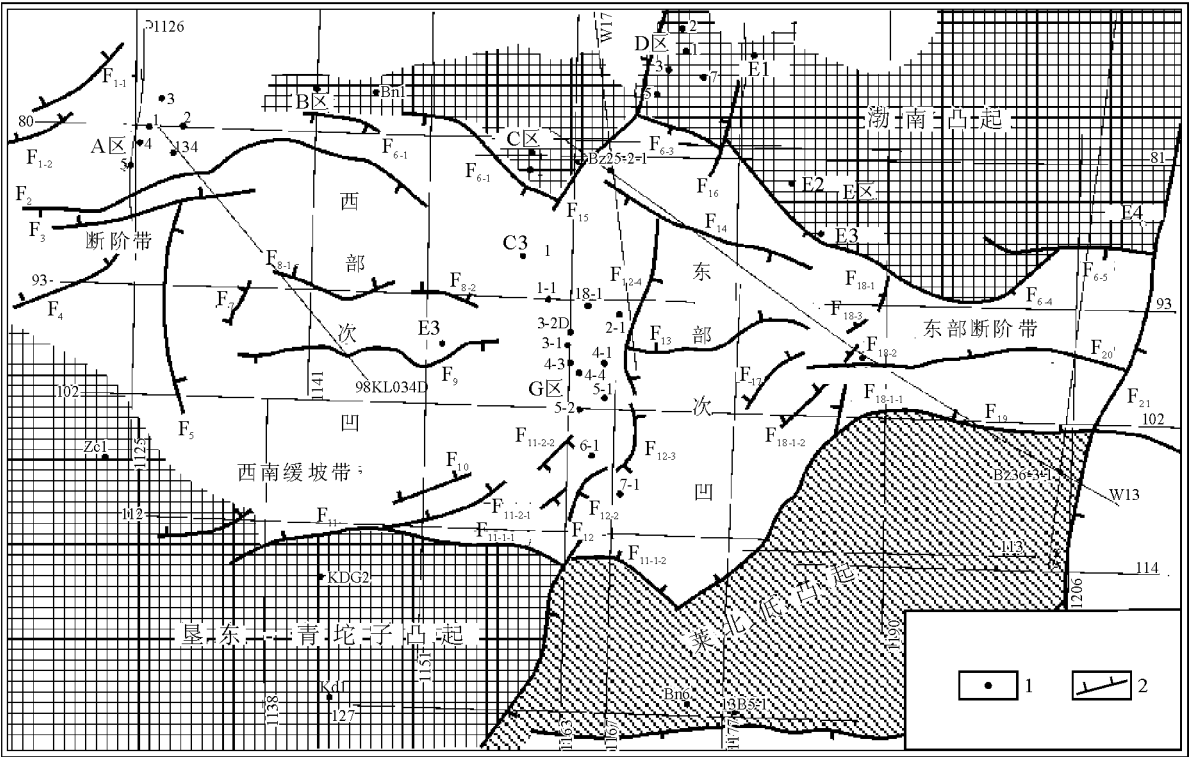


图 1 黄河口凹陷沙三中亚段同沉积断裂体系平面图
1 钻井井位; 2 断层

Fig 1 Plan of the syndepositional fault systems in the middle submember of the third member of the Shahejie Formation in the Huanghekou depression

1= well site 2= fault

震、测井、录井、分析化验资料及邻区沉积相特征综合分析结果表明,黄河口凹陷沙三段中亚段发育的沉积相类型有辫状河三角洲相、扇三角洲相、湖底扇相和湖泊相。

2 1 辫状河三角洲相

McPherson等(1987)把辫状河三角洲相定义为由辫状河道进积到水体所形成的粗碎屑三角洲复合体。辫状河三角洲相可划分为三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲 3 个亚相。在地震剖面上表现为中强振幅、中高连续前积反射结构。

1. 辫状河三角洲平原

辫状河三角洲平原主要由辫状河道和河道间沉积组成。

辫状河道沉积主要岩石类型有砂砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩和中砂岩,砾石定向排列,发育大型交错层理,向上变细,与下伏灰绿色、紫红色泥岩冲刷接触,与上覆灰绿色、紫红色泥岩突变接触。测井曲线以高阻、低伽玛、自然电位正高异常的钟形或箱形为特征。概率曲线以两段式为主,跳跃组分占 50%~80%,悬浮组分占 10%~20%,含有少量滚动

组分(图 2)。

河道间沉积的岩石类型主要为灰绿色、紫红色粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩,多为块状层

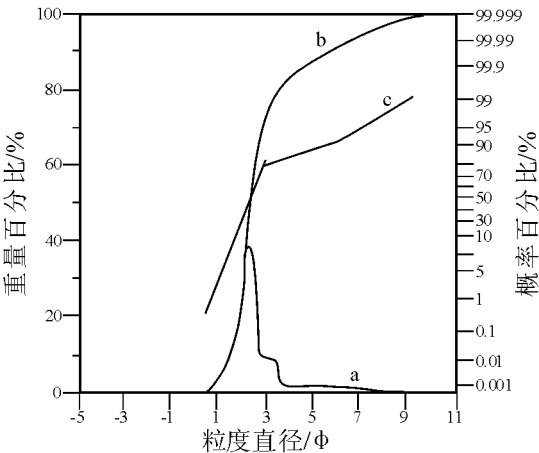


图 2 辫状河道砂岩粒度分布曲线 (A5井, 3340.85m)
a 频率曲线; b 累积曲线; c 概率累积曲线

Fig 2 Grain size curves for the braided channel sandstones
a= Frequency curve; b= Cumulative curve; c= Probability cumulative curve

理。测井曲线以中低阻、中高伽玛、自然电位中低负异常为特征。

2 辫状河三角洲前缘

在辫状河三角洲前缘识别出河口坝和远沙坝微相。辫状河三角洲河口坝的岩石类型主要有砂砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩,发育大型交错层理和块状层理,含砾粗砂岩见砾石定向排列。细砂岩见包卷层理和生物扰动构造。概率曲线以三段式为主,跳跃组分含量高,分选好。测井曲线以高阻、低伽玛、自然电位正高异常漏斗形和箱形为特征。

辫状河三角洲远沙坝的岩石类型主要有中粒砂岩、细砂岩,与暗色粉砂岩、泥质岩不等厚互层,发育块状层理,含砾粗砂岩见砾石定向排列。细砂岩、粉砂岩见包卷层理、生物扰动构造、波纹层理、波纹交错层理、水平层理,以及泥底辟形成的火焰状构造。测井曲线以中高阻、中低伽玛、自然电位正中高异常为特征,测井曲线齿化明显,呈指状或漏斗状。

3 前三角洲

前三角洲沉积主要由暗色粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩组成,可见块状层理、水平层理。夹湖底扇沉积。测井曲线以低阻、中高伽玛,自然电位负中高异常为特征。

2.2 扇三角洲相

扇三角洲相是断陷盆地盆缘断裂处极为发育的一种沉积相,多发育于盆地裂隙的早期,是在湖盆与物源区之间高差大、坡度陡的条件下形成的,一般靠近盆缘断裂带,紧邻物源区(冯增昭, 1993; 赵澄林等, 1992^[9]; Paul, 1990)。目前国内许多学者把扇三角洲划分为扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲三个亚相(穆立华等, 2003^[7]; 康仁华等, 2002)。扇三角洲在地震剖面上表现为中弱振幅、中低连续前积反射结构。

扇三角洲平原由泥石流和水道沉积组成。泥石流沉积由砾石、砂、泥混杂堆积而成,分选极差,可见正递变层理、反递变层理,砾石杂乱分布,砾石长轴往往不具定向性。水道沉积由砾岩、砂砾岩、含砾粗砂岩组成,沉积物分选、磨圆较好,砾石多呈叠瓦状排列或定向排列,可见大型交错层理。测井曲线多为带小锯齿的中高幅箱形。

扇三角洲前缘由近端坝和远端坝沉积组成。近端坝主要由砾岩、砂砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩组成,夹薄层暗色粉砂(泥)质沉积。可见、大型交错层理、叠瓦状排列或定向排列的砾石,砾石多为次圆

状。也可见少量砾石、砂、泥混杂堆积而成水下泥石流沉积。远端坝由含砾粗砂岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩与暗色泥质岩不等厚互层组成。可见大型交错层理、波纹交错层理、定向排列的砾石,可夹滑塌沉积。

前扇三角洲沉积主要由暗色粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩组成,可见块状层理、水平层理,夹湖底扇沉积。

2.3 湖底扇相

该体系的主要特征是大套深水泥岩夹重力流砂质沉积组合,主要发育的砂体为湖底扇沉积,在平面上可划分为扇根、扇中和扇端 3 个相区。

2.4 湖泊相

湖泊相区分出滨湖、浅湖和深湖 半深湖 3 个亚相。滨湖亚相是位于湖泊洪水位与枯水位之间的湖泊地带,浅湖亚相是位于湖泊枯水位与湖泊浪基面之间的湖泊地带。深湖 半深湖是位于湖泊浪基面之下、湖水较为平静的湖区。由于湖水位经常波动,滨浅湖沉积难于明显区分,故将滨湖和浅湖亚相合并,称之为滨浅湖亚相。本文将湖泊相划分为滨浅湖亚相和深湖 半深湖亚相。

3 沉积相展布规律

利用地震、测井、录井、岩心及分析化验资料,通过综合分析和系统的地层及沉积学编图,查明了沙三段中亚段的地层和沉积相的空间分布规律。

3.1 沙三段中亚段沉积相剖面特征

G₃-G₁-G₆-G₁₁-G₁₃-G₁₄联井剖面(图 3)和无井区的典型地震剖面沉积体系分析,揭示了沙三段中亚段地层的沉积体系剖面展布特征。

从 G₃-G₁-G₆-G₁₁-G₁₃-G₁₄联井剖面分析,北部 G₃井附近,沙三段中亚段发育辫状河三角洲前缘砂质沉积,辫状河三角洲前缘砂质沉积夹在前三角洲及湖泊泥质沉积之中。G₁井附近,沙三段中亚段主要为前三角洲及湖泊泥质沉积。南部 G₁₄-G₁₃井一带,靠近盆地边缘的南部物源,为辫状河三角洲前缘河口坝和远沙坝的砂岩与泥岩不等厚互层沉积。G₆-G₁₁井一带处于远离物源的较深湖中部,为湖泊相暗色泥岩夹湖底扇砂质沉积,砂岩单层厚度变化较大,多与泥岩突变接触(图 3)。

3.2 沙三段中亚段沉积相平面分布

在地震资料详细解释基础上,根据振幅、连续性、内部反射结构、外部几何形态等地震反射特征,编制了沙三段中亚段地震相图,通过钻井标定和地

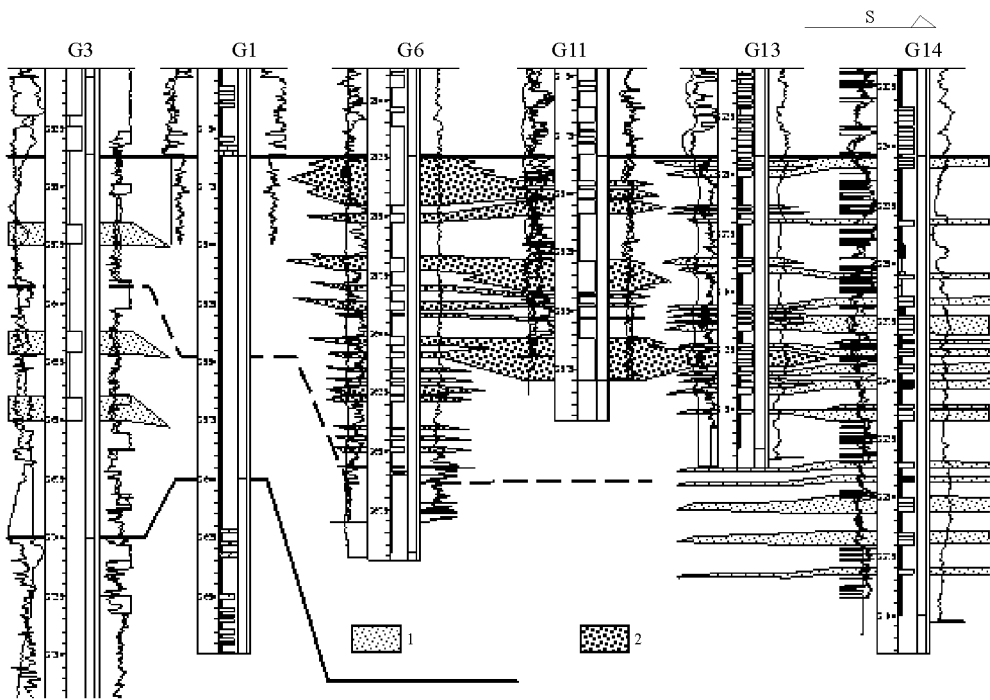


图 3 C3~G14井沙三中亚段沉积体系分析联井剖面图

1 辫状河三角洲前缘; 2 湖底扇

Fig 3 Well tie sections of the depositional systems in the middle submember of the third member of the Shahejie Formation through the C3 well to the G14 well

1=braided delta front 2=sublacustrine fan

震相沉积含义、沉积背景分析, 编制了黄河口凹陷沙三段中亚段的沉积相平面图(图 4)。

沙三中亚段发育的沉积体系类型有扇三角洲、辫状河三角洲、湖泊和湖底扇。

扇三角洲靠近盆缘断裂, 发育于黄河口凹陷东北部 D构造带井~E构造带井断块南侧, 发育两个扇三角洲朵体, D构造带井断块南侧的朵体规模稍大。

辫状河三角洲, 发育于黄河口凹陷的南部和东部, 发育 4 个辫状河三角洲朵体, 规模在 20 ~ 40 km²。

湖底扇发育于 G5~G9井一带和西南部 102测线与 1130测线交点附近, 呈坨状分布。

半深湖 深湖主要广泛分布于黄河口凹陷的东部和西南部, 扇三角洲、辫状河三角洲及湖底扇主要发育于半深湖 深湖之中, 半深湖 深湖沉积构造带周缘和 A构造带井附近断块两侧为滨浅湖沉积(图 4)。

4 同沉积断裂体系的分布

黄河口凹陷古近纪同沉积断裂发育, 以东西走

向的断裂居多, 南北走向和北东走向的断裂相对较少。东西走向的断裂发育于黄河口凹陷的南部、中部和北部。南北走向和北东走向的断裂发育西部次凹、东部次凹和庙西凹陷的西侧(图 1)。

F₆断层是黄河口凹陷与渤南凸起分界的边界断裂。沙三中亚段至东三段沉积时期, 该断裂是控制沉积的盆缘断裂, 只在断层下降盘接受沉积。

F₁断层是西南次凹与垦东 青坨子凸起分界的边界断裂。从孔店组至东一段沉积时期, 该断层一直处于差异活动时期, 而孔店组一沙四段、沙三下亚段、沙三中亚段、沙一二段、东二段沉积时期断层差异活动较强, 断层生长指数分别为 2.0、2.5、3.5、2.2 和 1.7。其中, 沙三中亚段沉积时期断层差异活动最强。

F₅断层是西部次凹西侧的近南北向控凹断层。为二级同沉积断裂。该断层从孔店组一沙四段沉积时期开始活动, 东二段沉积时期停止活动。沙三中亚段沉积时期, 该断层的差异活动相对较弱, 生长指数为 1.6。

F₂₀断层是位于东部断阶带中部近东西向的断层。从孔店组一沙四段至东二段沉积时期该断层一



图 4 黄河口凹陷沙三中亚段沉积体系平面图及主要同沉积断裂

FD 扇三角洲; BD 辫状河三角洲; SB 滨浅湖沙坝; SL 滨浅湖; DL 半深湖 深湖; LF 湖底扇

Fig 4 Plan of the depositional systems and syndepositional faults in the middle submember of the third member of the Shahejie Formation in the Huanghekou depression

HD= fan delta BD= braided delta SB= littoral and shallow lacustrine bar SL= littoral and shallow lake DL= semi-deep lake and deep lake LF= sublacustrine fan

直处于差异活动时期。沙三中亚段、沙一二段沉积时期断层差异活动最强,断层生长指数分别为 2.4、2.2

5 同沉积断裂对沉积的控制

黄河口凹陷的古地貌宏观格局具有一定继承性,不同层序的地层厚度图均展示了黄河口凹陷的北部是长期发育的陡坡带,而西部和东部为断阶控制的缓坡带,南部为以挠曲为主的缓坡带。

沙三中亚段沉积时期是强烈断陷期。沙三中亚段的沉积相图(图 4)清楚地展示,扇三角洲主要分布在黄河口凹陷北部,被 F₆控盆断层的持续活动所控制。辫状河三角洲发育于黄河口凹陷的南部。被 F₁₁、F₉边界断裂所控制。

沙三中亚段沉积时期,位于东部次凹与东部断阶带分界部位的 F₁₈帚状断裂(图 4),沙三中亚段沉

积时期断层差异活动最剧烈,断层指数为 3.3 该断裂控制了东部次凹深水沉积构造带的分布。F₅断层(图 4)是西部次凹西侧的近南北向控凹断层,该断裂控制了西部深水沉积构造带的范围。F₁₃断层(图 4)是发育在东部次凹中部的近东西向的断层, F₄断层是位于东部次凹北部近北西西向的断层,两个二级断裂控制了东部次凹湖底扇的形成。

F₂断层(图 4)发育于东部断阶带中部,走向近东西向,在沙三中亚段时期,该断层差异活动明显,对东部长轴水系具有明显的控制作用。东部的辫状河三角洲就是此长轴水系入湖所形成的。

综上所述,陡坡带和缓坡带活动盆缘断裂对沉积的控制作用有所不同,沙三中亚段沉积时期,黄河口凹陷北部为盆地的陡坡,活动断裂活动强烈,古地形反差大,陡坡活动盆缘断裂控制了扇三角洲的分布;而黄河口凹陷南部为盆地的缓坡,活动断裂活动

较弱, 古地形反差小, 缓坡带活动盆缘断裂控制了辫状河三角洲分布。二级同沉积断裂对湖底扇和深水沉积构造带有明显的控制作用; 东部断阶带中部发育的 E_0 东西向同沉积断裂, 控制了物源的主要注入通道——沟谷, 对东部物源的注入具有长期影响。

6 结 论

黄河口凹陷沙三段中亚段发育的沉积相类型为辫状河三角洲相、扇三角洲相、湖底扇相和湖泊相。靠近东北侧盆缘断裂发育扇三角洲相, 凹陷的西南部、南部和东部发育辫状河三角洲相, 半深湖、深湖主要分布于沉积构造带中心部位, 湖底扇发育于半深湖、深湖沉积构造带中。其余为滨浅湖沉积。

黄河口凹陷同沉积断裂对沉积的控制主要表现在: ①陡坡带活动盆缘断裂控制了扇三角洲的分布; ②缓坡带活动盆缘断裂控制了辫状河三角洲分布; ③二级断裂对湖底扇和深水沉积构造带有明显的控制作用; ④东部断阶带中部发育的 E_0 东西向同沉积断裂, 控制了物源的主要注入通道——沟谷, 对东部

物源的注入具有长期影响。

参考文献:

[1] 樊太亮, 吕延苍, 等. 层序地层中陆相储层发育规律 [J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 315—321.
[2] 姚光庆, 陈红汉, 何士斌, 等. 渤中地构造带第三系储层地质特征研究 [J]. 中国海上油气 (地质), 2001, 15(4): 249—253.
[3] 蔡东升, 罗毓晖, 武文来, 等. 渤海浅层构造变形特征、成因机理与渤中坳陷及其周围油气富集的关系 [J]. 中国海上油气 (地质), 2001, 15(1): 35—43.
[4] 张建林, 林畅松, 等. 断陷湖盆断裂、古地貌及物源对沉积体系的控制作用. 油气地质与采收率, 2002, 9(4): 24—27.
[5] 程日辉, 郑和荣, 林畅松. 构造断阶与砂体预测: 以沾化凹陷富林地区为例 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(3): 304—315.
[6] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学 (第三版) [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001, 311—324.
[7] 穆立华, 彭仕宓, 尹志军, 等. 冀东柳赞油田古近系沙河街组层序地层及岩相古地理 [J]. 古地理学报, 2003, 5(3): 304—315.

Syn depositional fault controls on the distribution of sedimentary facies: An example from the sedimentary facies in the middle submember of the third member of the Shahejie Formation in the Huanghekou depression, Shandong

GUO Tao¹, XIN Ren-chen¹, LU Hao¹, ZHOU Xin-hua²
(1. School of Marine, China University of Geosciences, Beijing, Beijing 100083, China; 2. Tianjin Branch, CNOOC Tanggu 300452, Tianjin, China)

Abstract: Sedimentary facies developed in the middle submember of the third member of the Shahejie Formation in the Huanghekou depression consist of the braided delta, fan delta, sublacustrine fan and lacustrine facies. The controls of the syn depositional faults are manifested in: (1) the controls of the active basin margin faults in the steep slope zone on the distribution of the fan delta facies; (2) the controls of the active basin margin faults in the ramp zone on the distribution of the braided delta facies; (3) the controls of the second-order faults on the sublacustrine fan facies and deep water depositional areas; and (4) the controls of the E_0 EW trending syn depositional faults in the middle part of the eastern fault terraces on gullies and valleys as the main channels for sediment supply.

Key words: Huanghekou depression; deposition; syn depositional fault; second-order fault