

文章编号: 1009-3850(2009)04-0022-07

黄骅拗陷孔南地区孔店组冲积扇沉积特征及地质意义

兰亚萍¹, 李 勇¹, 丘东洲², 肖敦清³, 蒲秀刚³,
袁淑琴³, 刘子藏³, 韩 冰¹, 冯镜权¹

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 3. 大港油田, 天津 300280)

摘要: 利用钻井岩心、测井及地震资料, 对黄骅拗陷孔南地区孔店组孔一下亚段进行岩石学、测井响应及地震反射特征的综合研究, 识别出 4 种岩相组合、4 种测井相类型和 3 种地震相类型; 划分出扇中和扇端亚相; 建立了冲积扇的垂向沉积序列并探讨了冲积扇的空间展布规律。认为研究区孔一下亚段陡坡带属于干旱气候条件下发育的进积型冲积扇沉积体系类型。冲积扇的研究是孔二段到孔一段古环境变化、古构造及盆地演化的重要证据。

关键词: 黄骅拗陷; 孔店组; 冲积扇

中图分类号: P512.2 文献标识码: A

1 地质概况

黄骅拗陷位于渤海湾盆地中部, 是一个在中生代盆地基础上发展起来的新生代断陷盆地。其东西两侧被埕宁隆起和沧县隆起所挟持, 北端与燕山褶皱带相接。黄骅拗陷的长轴延伸方向为近 NNE—NE 向, 总面积约 $1.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。孔南地区是指孔店凸起至灯明寺的广大拗陷地区, 是黄骅拗陷中的第二大富油凹陷, 勘探面积为 4700 km^2 。该区在区域构造上属黄骅拗陷的南部, 其北部以羊三木断层为界, 南到吴桥凹陷, 西部以沧东大断层为界, 东部以徐黑断裂为界。主要构造单元包括沧东、南皮两大凹陷和 6 个二级构造带 (包括孔店、徐扬桥、黑龙村两个潜山构造带, 沧州市、东光等 3 个鼻状构造带以及小集段六拨、灯明寺两个断裂构造带)^[1] (图 1)。

孔南地区发育古近系孔店组、沙河街组、东营组和新近系馆陶组和明化镇组组成。自下而上划分为孔三段 (E_k^3)、孔二段 (E_k^2) 及孔一段 (E_k^1)。孔一

段可划分为 6 个油组, 自上而下依次为枣 0、枣 I、枣 II、枣 III、枣 IV、枣 V 油层组。根据沉积旋回和岩性组合可以将孔一段分为上下两段, 枣 0—枣 II 油组构成孔一段上段, 而枣 III 和枣 V 油组构成孔一下段。

孔店组属于区域构造活动初期的闭塞小湖盆充填沉积建造。孔店期湖盆演化的次级旋回演化阶段十分明显: 经历了初期裂陷 (E_k^1)、强烈裂陷 (E_k^2)、萎缩充填 (E_k^3) 3 个阶段。现有研究资料^[2-4] 表明, 孔二段时期气候潮湿, 沧东断裂强烈活动, 而徐西断裂尚未发生活动, 整个盆地处于强烈裂陷时期; 孔一上亚段形成于干热膏盐湖环境, 该时期沧东断裂和徐西断裂均强烈活动, 湖盆萎缩为半咸水、咸水的封闭湖盆。孔南地区陡坡带由下伏孔二段地层的辫状河三角洲沉积突变为孔一下亚段的冲积扇沉积, 代表了一次重要的古气候、古环境的转变及构造抬升。本文在现有资料的基础上, 对孔一下亚段陡坡带冲积扇岩性特征、测井响应、地震反射特征和沉积相序进行了详细描述, 并通过冲积扇沉积特征的研究, 对

收稿日期: 2009-01-15 改回日期: 2009-09-04

作者简介: 兰亚萍 (1984—), 女, 硕士研究生, 第四纪地质学专业。E-mail: lux_eijona@qq.com

资助项目: 四川省重点学科建设项目和大港油田重点科技项目 (编号: DGYT-2008-JS-715)

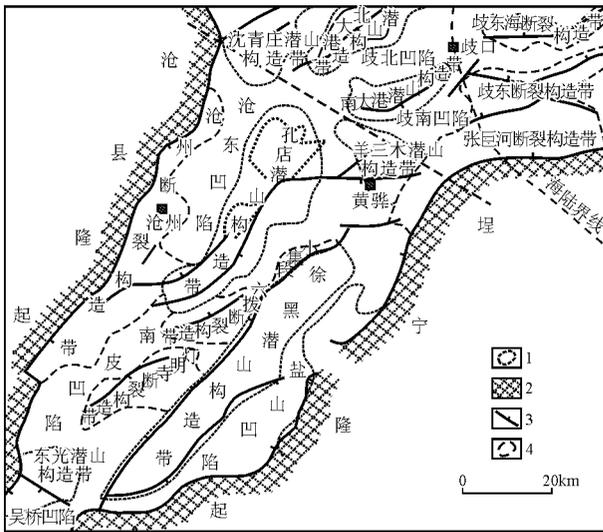


图 1 研究区位置及构造纲要图^[2]

1 潜山构造带; 2 隆起区; 3 断层; 4 断裂构造带
Fig 1 Location and tectonics of the study area

1= buried hill structural zone 2= uplifted area 3= fault
4= faulted structural zone

这次古环境的改变和古构造的抬升进行探讨。

2 冲积扇识别标志

2.1 岩石学特征

冲积扇以杂基胶结的灰绿色/灰白色/紫红色砂砾岩、含砾砂岩、细砂岩及紫红色泥岩为主。沉积物分选差,砂质、砾质、泥质相互混杂,磨圆度低,颗粒呈棱角状、半棱角状。砾石成分有钙质、砂质及硅质,砾径一般 3~8 cm,次磨圆,次棱角状。冲积扇沉

积粒度特征反映砾质砂岩和含砾砂岩沉积过程中以滚动搬运为主。可见砾石定向排列,冲刷充填构造、板状交错层理、槽状层理、平行层理及粒序层理等沉积构造^[5]。

通过对孔南地区陡坡带小 5 井、女 89 井、王 26 井等 21 口取心井的详细观察和描述,结合岩石的颜色、成分及沉积构造等特征,分析认为在孔南地区孔一下段冲积扇中包括有:块状砾岩相 (Gm)、平行层理砂岩相 (Sh)、槽状交错层理砂岩相 (St)、板状交错层理砂岩相 (Sp)、块状层理砂岩相 (Sm)、粒序层理砂岩相 (G)、块状层理粉砂岩相 (Fm) 和红色泥岩相 (Mr) 等 8 种岩性相。

根据以上 8 种岩石相的综合分析,归纳出 4 种岩相组合,每种岩相组合类型分别代表了不同的沉积环境^[6],由其所指示的环境水动力从高能到低能依次为:

1. Gm-Sm-Mr 岩相组合

如图 2^a所示,层序下部为棕红色块状含砾粗砂岩,其上沉积了棕红色块状细砂岩,再向上是棕红色的泥岩,可见底冲刷,解释为扇根河道沉积。

2. SP-St Sh-Fm-Mr 岩相组合

如图 2^b所示,层序下部为棕红色板状交错层理粗砂岩,其上沉积了棕红色槽状交错层理砂岩、平行层理砂岩,再向上沉积物粒度变细,由棕红色块状粉砂岩过渡为棕红色泥岩,可见底冲刷,解释为辫状河道。

3. SP-Sm-Fm-Mr 岩相组合

如图 2^c所示,层序底部为棕红色含砾中、细砂岩,具大型板状交错层理,其上沉积了块状细砂岩,

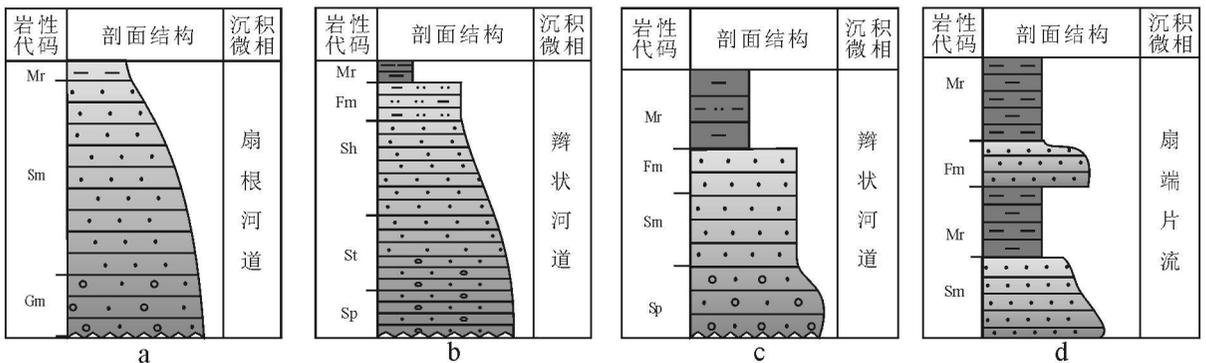


图 2 孔南地区孔一下亚段冲积扇岩相组合类型

a Gm-Sm-Mr 组合 (小 5 井); b SP-St and Sh-Fm-Mr 组合 (王 26 井); c SP-Sm-Fm-Mr 组合 (王 40 井); d Sm-Mr-Fm-Mr 组合 (官 158 井)

Fig 2 Lithofacies associations in the lower submember of the first member of the Kongdian Formation

a Gm-Sm-Mr association in the Xiaowu 5 well b SP-St and Sh-Fm-Mr associations in the Wang 26 well c SP-Sm-Fm-Mr association in the Wang 40 well d Sm-Mr-Fm-Mr association in the Guan 158 well

向上过渡为棕红色波状层理细砂岩,层序顶部为棕红色粉砂质泥岩。解释为辫状河道。

4. Sn-Mr-Fm-M 岩相组合

如图 2 d所示,层序剖面以红棕色块状砂质泥岩和粉细砂岩为主,反映了相对静止、低能的环境,解释为冲积扇扇中的辫状河道间或扇端片流沉积。

2.2 测井响应

冲积扇各部位在测井曲线上表现为不同的特征(表 1):

1. 冲积扇辫状河道

冲积扇扇中辫状河道水动力条件较强,为沉积物供给的主要渠道,物源供应相对充足。电阻率曲线上表现为带齿边的中-高幅度箱形或钟形曲线;自然电位测井曲线的形态也呈带齿边的幅度箱形或钟形曲线,幅度往往是整个冲积扇上最大的。测井相模式多为中高幅箱形或箱形-钟形组合模式。

冲积扇扇端辫状河道水动力条件较弱,多为中幅小锯齿指状、尖嘴状或带锯齿的圣诞树形结合测

井相模式。

2. 冲积扇扇端片流

冲积扇扇端的片流沉积时水动力很弱,多为砂质泥岩、粉砂质泥岩等细粒沉积,测井曲线较平直,对应于低幅微齿化测井相模式。

冲积扇是由砂砾、砂岩、泥岩组成的多旋回层序沉积。单个旋回的测井曲线类型主要有两种:一种为底突变接触,顶部渐变的正韵律型或顶底均突变的箱形;另一种是底部过渡,顶部突变的反韵律型。在冲积扇沉积剖面内一般仅在局部呈单层出现,多见于扇根、扇端部位,是下超充填性堆积层的反映。如乌 16井 2540~2555m段,岩性下部为含砂砾泥岩,向上变为混杂砂质砾岩,顶部突变为红色砂质泥岩。自然电位曲线呈倒三角状,代表阵发性席状漫流的高粘度碎屑流沉积,分布于扇根部位。另一种分布于扇端的反韵律曲线,为自下而上单层增厚、颗粒变粗的锯齿形倒三角状曲线,代表了前积或可能侧移的堆积。

表 1 孔一下亚段冲积扇测井相与沉积微相对比模式表

Table 1 Correlation of the logging facies and sedimentary facies in the lower submember of the first member of the Kongdian Formation

测井曲线模式	测井曲线		岩性柱	旋回	微相	亚相	代表井
	SP	Rt					
中-高幅钟形-箱形			3418 3444		辫状河道	扇中	官 2208
中-高幅钟形			3350 3384		辫状河道	扇中	女 89井
中幅 齿化指状-圣诞树状			2440 2468		辫状河道	扇端	女 59井
低幅齿状			3110 3135		片泛	扇端	叶 7井

2.3 地震反射特征

冲积扇是发育在盆地边缘的陆上沉积体系,其总体特征为“杂乱反射、丘状下超”。在地震剖面中,冲积扇在纵剖面上呈楔形,在横剖面上则表现为丘状,向盆地内部厚度减薄,总体上表现为明显的锥状外形^[7]。在纵剖面上以杂乱的前积构造最为常见,也有下超型前积构造和斜交型前积构造,其前积构造的共同点是通常缺乏底积层,前积层与下伏地层呈下超接触。冲积扇反射结构主要为杂乱反射或无反射结构,振幅强弱多变,层速度较高,与顶底反射终端不清楚,解释为砂砾岩的杂乱堆积造成;向洼陷中部演变为低连续、变振幅发射,具有亚平行结构特征,反映砂泥岩互层沉积。辨析出研究区孔一下亚段主要有以下3种地震相:

1. 杂乱地震相

杂乱反射结构的特点是不连续、不规则的反射,振幅强度变化较大,可以是强振幅,也可以是中振幅和弱振幅。此种地震相在研究区孔一下亚段冲积扇中多见。杂乱反射地震相的出现主要有以下几方面原因:①粗物源、近物源、快速堆积的沉积体多表现为杂乱反射;②受地层埋藏深度的影响,随着地层埋藏深度增大,地震分辨率降低,杂乱反射增多;③受断层影响,尤其是在大断层附近,地震相类型多表现为杂乱反射(图3a)。

2. 丘状地震相

丘状地震相是由一组呈披覆状的同相轴组成,剖面显示中间厚两侧薄的上凸丘形特征。一般来说,丘状相的底界是平直的或略显下凹,与下伏层平行接触,而顶界上凸并被两侧同相轴上超。丘状地震相主要发育在西侧沧东断层下降盘一侧的孔一下亚段地层中(图3b)。

3. 前积地震相

前积地震相是由一组向同一方向倾斜的同相轴组成与其上覆和下伏的平坦同相轴成角度或切线相交的地震相类型。孔一下亚段孔南地区前积反射结构主要发育于盆地周缘,沧东断裂、徐西断层向盆地方向以及南部东光凸起向南皮凹陷方向更为发育(图3c)。

地震反射在冲积扇各个部位特征也有所不同:扇根部,呈杂乱短波状的反射结构;扇中可见到明显的斜交前积或“S型反射结构;扇端在地震反射特征上同相轴呈较强的亚平行反射。

3 冲积扇沉积相

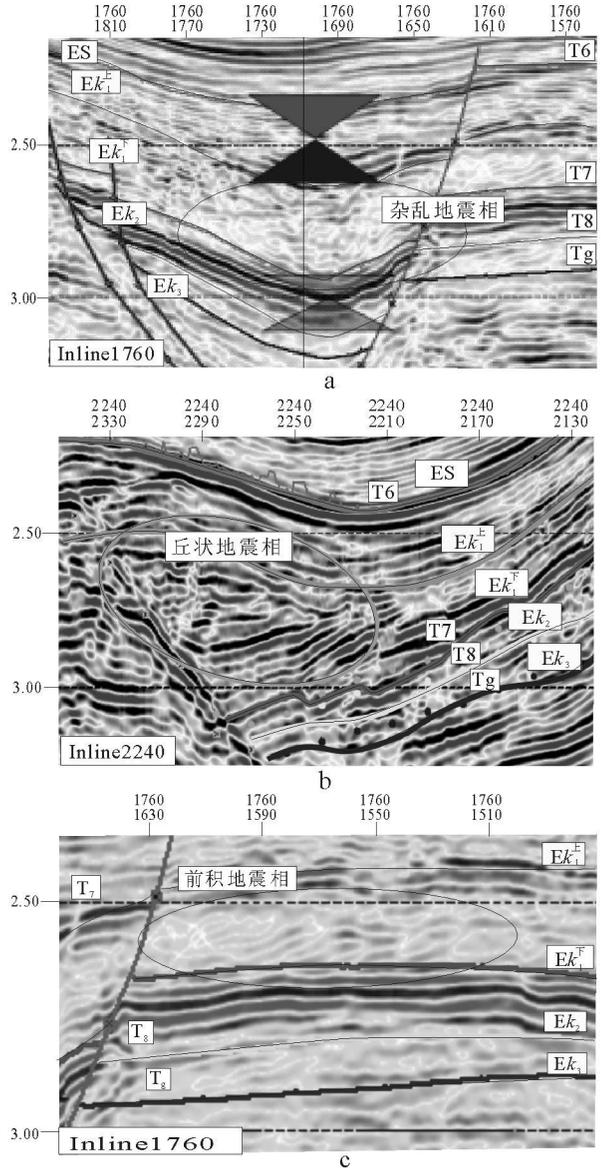


图3 孔南地区孔一下亚段冲积扇地震相类型
1. 孔南地区 In-line 1760测线示杂乱地震相; 2. 孔南地区 In-line 2240测线丘状地震相; 3. 孔南地区 In-line 1760测线前积地震相

Fig 3 Seismic facies in the alluvial fans in the lower submember of the first member of the Kongdian Formation
1. Chaotic seismic facies in the In-line 1760 profile
2. Mounded seismic facies in the In-line 2240 profile
3. Foreset seismic facies in the In-line 1760 profile

对本区不同部位钻井地质及取芯资料的研究,可将冲积扇划分为扇根、扇中和扇端3个亚相。

扇根岩性主要由泥石流沉积的杂色块状砾岩、辫状河道充填相砂砾岩、含砾中粗粒岩屑砂岩夹杂色泥岩组成。在测井曲线上,电阻率曲线为参差不齐的锯齿状,自然电位曲线呈中幅锯齿状。由于盆

地边部钻井资料缺乏和晚古新世和早始新世到沙河街组沉积时期盆地发生的构造运动^[8]使得孔一段地层内油组遭受不同程度的缺失,故在研究区内孔一段下亚段暂未划分出扇根亚相。

扇中主要由辫状河道充填相的砾质粗粒砂岩、中细砂岩和河道间的粉砂岩、泥岩组成。扇中辫状河道砂岩具平行层理、板状层理和槽状交错层理,砾石呈叠瓦状排列,其粒度分布累计概率曲线为斜率很高的两段式,为高流态牵引流沉积环境的特征;在电阻率测井曲线上,扇中上部剖面曲线为大段厚层箱状叠置型,低幅值泥岩隔层薄而少,中下部则为大段锯齿形正韵律曲线,局部夹薄层反韵律曲线,低值泥岩隔层很薄但层数增多。

扇端主要由间歇辫状河道的粉细砂岩和片泛沉积的钙质泥岩、粉砂质泥岩构成,砂层多具平行层理,测井曲线为大段低幅齿化曲线夹薄层反韵律型高幅值曲线组合^[9]。

通过单井层序研究发现,研究区孔一下亚段东西两侧陡坡带均发育下细上粗的反旋回冲积扇层序(图4)。赫瓦德(Heward 1978)认为:“向上变粗变厚的大层序是由于物源区周期性的抬升或盆地沉降,冲积扇向盆内进积,使近源粗粒沉积物向盆内迁移,并盖在远源细粒沉积物之上”。由冲积扇相序可推知,孔一下亚段时期研究区陡坡带沧东断裂、徐西断裂处于拉张活动期,沧县、埕宁隆起抬升,洪水携带大量陆源碎屑沿凹陷边坡沟谷高速冲向凹陷内,并挟带沿途的堤岸物顺坡而下,随着坡度减缓,流速急剧下降,形成扇形快速堆积体。此时陡坡带断层强烈活动,沉积物堆积速率大于盆地沉降速率,冲积扇砂体逐渐不断地向盆地方向推进,使得扇根沉积置于扇中沉积之上,而扇中沉积又置于扇端沉积之上。

4 冲积扇空间展布

研究区内孔一下亚段冲积扇主要分布在盆地西缘沧东断层下降盘的穆三拨地区、舍女寺地区及西北边缘的薛官屯地区和东缘徐西断层一线的集北头地区、肖官屯地区、东关王官屯地区及东北部的故县地区。其中东关王官屯冲积扇与肖官屯冲积扇彼此相连重叠,呈裙裾状冲积扇群(图5)。

冲积扇的这种空间分布是由沧东断裂、徐西断裂剧烈活动引起。间歇性洪水携带大量来自沧县隆起的石炭—二叠系碎屑岩、奥陶系灰岩及来自埕宁隆起的中生界陆源碎屑岩、寒武—奥陶系的碳酸盐

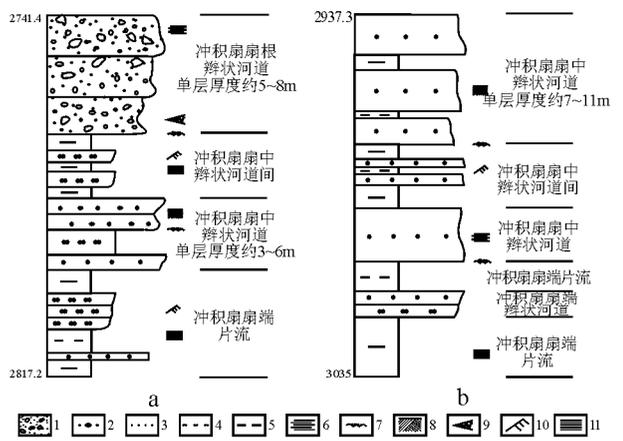


图4 冲积扇沉积序列

a 女 89井、b 王 26井

1. 砾岩; 2 含砾砂岩; 3 细砂岩; 4. 粉砂岩; 5. 泥岩; 6 平行层理; 7. 冲刷面; 8 交错层理; 9 泥质条带; 10 砂纹层理; 11 水平层理

Fig. 4. Vertical sequences through the alluvial fan deposits in Nuqiu well (a) and Wang 26 well (b)

- 1 = conglomerate 2 = gravel-bearing sandstone 3 = fine-grained sandstone 4 = siltstone 5 = mudstone 6 = Parallel bedding 7 = scour surface 8 = cross bedding 9 = muddy band 10 = ripple lamination 11 = horizontal bedding

岩,由物源口迅速向凹陷内倾泄,沿低洼地形分别汇集形成许多支流,呈辐射状四散开来,在凹陷中形成扇状堆积体。

对研究区的冲积扇沉积体系进行东西向对比可知,研究区由陡坡带向盆地内部,沉积体系由冲积扇沉积过渡为泛滥平原(冲积平原)沉积;西侧冲积扇多为大段砂岩夹泥岩,高位体系域较发育;而东侧冲积扇为多层中薄层砂岩连续叠置夹薄层泥岩组成。这表明沧东断裂活动强烈且持续时间长,物源充沛,而东侧的徐西断裂在此时期刚开始活动且时断时续,物源也不及西侧充沛。

5 研究意义

孔一下亚段沉积时期为孔店组古环境的更替时期。研究区孔一下亚段陡坡带冲积扇的沉积特征及其空间分布的研究,可为该时期古气候类型,沧东断裂和徐西断裂活动情况,孔南地区的剥蚀与抬升情况,湖盆发育阶段的认识等提供重要依据。

由冲积扇沉积特征知孔一下亚段沉积时期研究区古气候为亚热带干旱—半干旱气候。此时沧东断裂继承孔二段时期近东西向的拉张走滑运动,但拉张量要大于孔二段沉积时期,断层具有同沉积断层

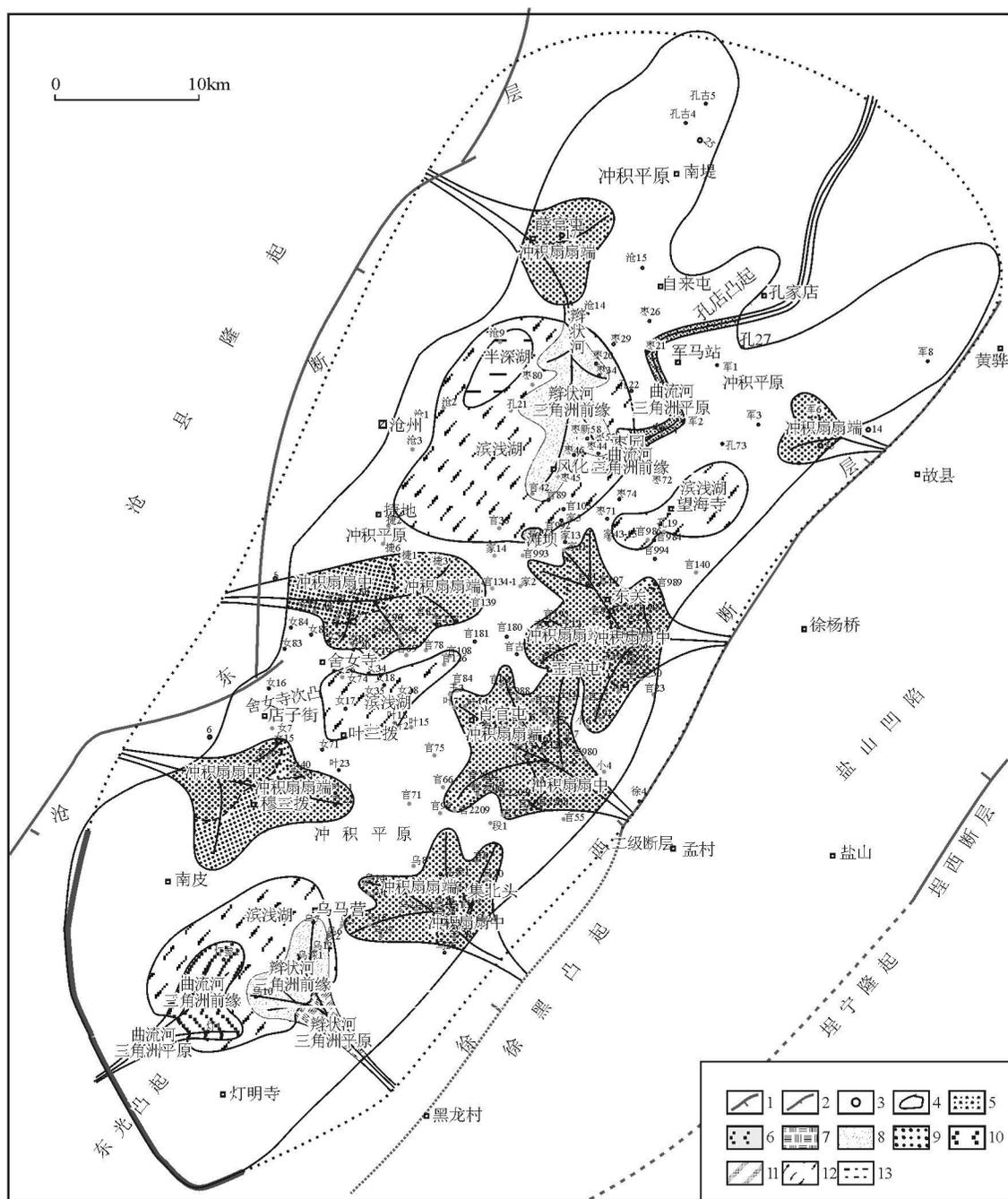


图 5 孔南地区孔店组孔一下亚段 (E₁^下) 冲积扇平面展布图

1 一级断层; 2 二级断层; 3. 井位; 4. 残留湖盆边界; 5 曲流河三角洲平原; 6 曲流河三角洲前缘; 7 辫状河三角洲平原; 8 辫状河三角洲前缘; 9 冲积扇扇中; 10 冲积扇扇端; 11 滩坝; 12 滨浅湖; 13. 半深湖

Fig 5 Planar distribution of the alluvial fans in the lower submember of the first member of the Kongdian Formation

1= first order fault 2= second order fault 3= well site 4= residual lake basin boundary 5= meandering delta plain 6= meandering delta front 7= braided delta plain 8= braided delta front 9= mid fan 10= fan apex 11= shoal bar 12= littoral shallow lake 13= bathyal lake

的特征,根部地层明显较厚,由东向西地层减薄。而徐西断裂也开始控制盆地地层沉积并发生东西向的拉张走滑运动。沧县隆起和埕宁隆起的周期性隆升及两大断裂的拉张走滑运动使大量来自沧县隆起和

埕宁隆起的碎屑物沿物源口向盆地内部快速堆积,沉积物沉积速率大于沉降速率,形成进积型冲积扇。物源供给非常充足,沉积物不断向前推进,由冲积扇沉积过渡为冲积平原沉积。孔南地区由强烈断陷进

入萎缩充填沉积时期, 此时的湖盆分布范围较孔二段缩小, 由一个大湖盆分解成 4 个独立的小湖盆, 分别在沧东、南皮、叶三拨以及望海寺地区, 以滨浅湖为主, 水位较浅, 大面积地区暴露出水面。

6 结 论

(1) 通过对陡坡带冲积扇的沉积特征研究, 识别出 4 种岩性相组合、4 种测井相类型和 3 种地震相类型。4 种岩性相组合对应着不同能量的水动力条件所形成的沉积微相。

(2) 识别出扇中、扇端两个亚相。扇中亚相包括含砾粗砂岩、中细砂岩组成的辫状河道微相和粉细砂岩组成的辫状河道间微相。扇端亚相沉积物粒度较细, 划分为辫状河道微相和片泛微相。研究区冲积扇为上粗下细的反旋回层序, 属于早进积型冲积扇。

(3) 冲积扇物源来自沧县隆起和埕宁隆起, 扇体呈朵状分布在断层下降盘, 研究区西侧冲积扇较东侧发育。

(4) 在孔一下亚段沉积时期, 气候干旱, 研究区的两条边界断层的拉张活动强烈, 沉积物沉积速率大于沉降速率, 湖盆萎缩, 形成冲积扇 河流冲积平

原沉积体系组的充填样式。孔一下亚段沉积时期为盆地由拗陷期向断陷充填期转化的时期。

参考文献:

- [1] 大港油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷四)大港油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
- [2] 大港油田科技丛书编委会. 第三系石油地质基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [3] 李丕龙. 陆相断陷盆地油气地质与勘探(卷二). 陆相断陷盆地沉积体系与油气评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [4] 王德发, 张服民. 黄骅坳陷第三系沉积相及沉积环境[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [5] 吴智勇. 东濮断陷湖盆下第三系沙二段的冲积扇沉积[J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 449-453.
- [6] 王德明, 李华林. 油藏描述技术在黄骅坳陷南区的应用[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [7] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [8] 路克政. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [9] 王勇. 柴达木盆地西北缘现代冲积扇沉积特征及石油地质意义[J]. 地质论评, 2007, 53(6): 791-799.

Alluvial fan deposits in the Kongdian Formation, Huanghua depression

LAN Ya ping, LI Yong, QIU Dong zhou, XIAO Dun qing, PU Xiu gang, YUAN Shu qin, LIU Zi can, HAN Bing, FENG Jing quan

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China; 3. Dagang Oil Field Tianjin 300280, China)

Abstract: The Petrology logging response and seismic reflection are dealt with for the alluvial fan deposits in the lower submember of the first member of the Kongdian Formation in the Huanghua depression. The emphasis is placed on the recognition of four lithofacies associations, four logging facies and three seismic facies, division of mid fan and fan apex subfacies, construction of the vertical sequences of the alluvial fan deposits, and examination of spatial distribution of the alluvial fan deposits. The lower submember of the first member of the Kongdian Formation is assigned to the progradational alluvial fan depositional system developed in the dry climatic conditions. The results of research in this study may provide useful approach to the exploration of palaeoenvironmental changes, palaeo tectonic uplifting and basin evolution from the second member to the first member of the Kongdian Formation.

Key words: Huanghua depression, Kongdian Formation, alluvial fan