

[文章编号] 1671-9727(2006)06-0587-06

廊固凹陷陡坡带古近系砂砾岩体控制因素分析

宋荣彩¹ 张哨楠¹ 董树义² 周文¹
付恒¹ 任文博³ 张建锋³

(1. 成都理工大学能源学院, 成都 610051; 2. 中国地质大学地球科学学院, 北京 100083;
3. 中国石油华北油田分公司勘探开发研究院勘探二室, 河北 任丘 062552)

[摘要] 廊固凹陷陡坡带砂砾岩体在纵、横向迁移变化快, 非均质性强, 勘探难度大。通过 18 口井 541 m 岩心的系统观察、156 口井测井序列的建立、1 km×1 km 三维地震测网密度的地震相识别, 认为是典型的近岸水下扇沉积体系, 并详细分析了该沉积体系的相带展布特征。砂砾岩体总体趋势为向上厚度减薄、层数减少, 共识别出五期扇体, 多呈条带状沿大兴断层断面分布。由于整体沉积背景的欠补偿沉积特征, 每期之间发育有稳定的暗色泥岩段。该近岸水下扇的形成受大兴断层、古构造、古气候、古地形以及物源供给等多种因素的控制, 其中湖平面变化特点、大兴断层的分段活动以及特殊的物源供给背景三个因素的匹配对近岸水下扇的形成起到了决定性作用。第二、第三期扇体扇中分布范围广, 储集条件好, 是开发的有利目标。

[关键词] 廊固凹陷; 近岸水下扇; 沉积特征; 控制因素; 层序; 大兴断层

[分类号] TE121.1

[文献标识码] A

近岸水下扇是指发育在断陷湖盆控盆断层下降盘, 直接插入较深湖相沉积物中, 位于陡坡带的扇形堆积体(张金亮, 1991)^[1]。该概念是基于区域构造、沉积背景、沉积物组合和所处古构造位置提出的。在不同类型盆地中由于沉积的差异性, 研究者对其叫法有所不同: 有水下冲积扇(孙永传等, 1980); 水下扇(孙连浦等, 2001; 朱庆忠等, 2003); 扇三角洲(张舒庭, 1998; 崔周旗, 2005); 近岸扇、近岸水下冲积扇(董荣鑫, 1985); 近岸水下扇(曾洪流, 1988; 张金亮, 1991; 张萌, 1999; 张舒庭, 2003; 嫣继华等, 2005); 重力流水下扇、近源水下扇、近岸浊积扇、陡岸湖底扇(赵澄林, 2000; D. Prabit, 2002); 近源湖底扇(王寿庆, 1993); 湖相斜坡扇(李淳, 1999)等^{[1]~[6]}。综合以上提法并考虑其与冲积扇、扇三角洲、湖底扇等沉积体系的区别, 认为近岸水下扇有以下几个显著特点: (1) 扇

体发育于断陷湖盆强烈断陷期边界同生断层的下降盘; (2) 山高水深、近物源且母岩易受风化; (3) 扇体发育于湖相暗色泥岩中, 可识别出扇根、扇中、扇端亚相; (4) 沉积物以重力流为主, 可见牵引流沉积。

近岸水下扇是陆相断陷盆地陡坡带的典型沉积体系, 其位于较深湖相厚层泥岩段包围的砂砾岩体是优越的储集体。廊固凹陷中西部古近系沙三段下部广泛发育碳酸盐质砂砾岩, 鉴于其沿大兴断层分布的宏观面貌和岩石学特征, 前人将其通称为“砂砾岩体”^{[7]、[8]}。该套砂砾岩体含有丰富的油气资源, 是廊固凹陷中西部主要的勘探目标。

张舒庭等(1998)对该砂砾岩体地震反射特征和成藏条件进行了分析^[7], 认为是冲积扇—扇三角洲沉积体系; 王连山等(2003)针对该砂砾岩体

[收稿日期] 2005-11-02

[基金项目] 中国石油天然气股份有限公司隐蔽油气藏专题项目(20030303WC080)

[作者简介] 宋荣彩(1975—), 女, 博士研究生, 研究方向: 石油天然气地质。

期刊主页: <https://xbzrkx.cdut.edu.cn>

的横向展布进行了储层横向预测^[9],但由于地震资料品质差,对其成因了解不够,预测结果难达到勘探开发的要求;朱庆忠(2003)通过研究地震反射特征和沉积物的组合规律^[8],确信其是近岸水下扇沉积体系,但限于资料的有限,并未对其沉积背景、构造背景、沉积演化作全面研究,致使得出的沉积模式单一,难以应用于实际生产中。

鉴于此,本文结合前人的研究成果和最新的钻井、岩心、地震等方面资料,对该套砂砾岩体纵、横向分布特征及控制因素进行了研究,希望为该区域隐蔽油气藏的进一步勘探提供合理的地质模型和有利的勘探目标。

1 地质背景

廊固凹陷是渤海湾盆地冀中坳陷北部一个西断东超的箕状凹陷,面积约 2 830 km²(图 1)。古近纪,廊固凹陷处于南西—北东向拉张环境中,这种应力场促成了中西部大兴断层的形成。大兴断层控制了古近系沉积,在断层下降盘沉积了厚度巨大的砂砾岩,累加厚度近万米。远离断层沉积厚度逐渐减薄,总体呈楔形。廊固凹陷古近纪经历了三个构造演化阶段:断陷初期(孔店组—沙河街组第四段)、强烈断陷期(沙河街组第三段)和断陷回返期(沙河街组第二段—东营组)^[11]。大兴断层在沙河街组第三段初始期随着盆地的强烈拉张而活动性增强,其上升盘持续抬升,上覆寒武系—中上元古界遭受强烈风化剥蚀。风化产物在洪水携带作用下,沿着大兴断层断面进入凹陷较深水湖盆中,形成多期次近岸水下扇扇体在纵向

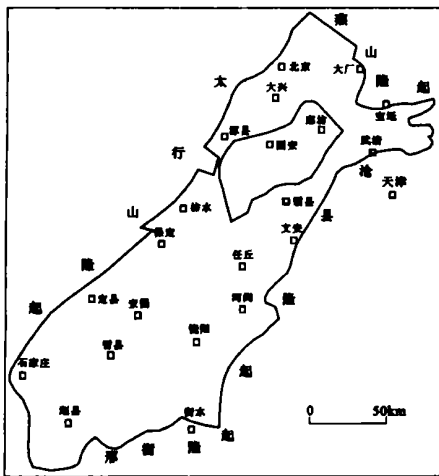


图 1 廊固凹陷构造位置图

Fig. 1 Tectonic position of the Langgu depression

和横向上的叠置(图 2)。

2 沉积相带特征

近岸水下扇的相带可分为扇端、扇中和扇根^[9]或内扇、中扇和外扇^[3],但表现为两种完全不同的沉积序列,前者为湖侵、退积、正旋回沉积层序;后者为进积、反旋回沉积层序。

廊固凹陷中西部沙三段近岸水下扇在地震剖面上特征明显(图 3),可识别出扇根、扇中和扇端三个亚相。扇根沿大兴断层断面分布,地震反射为杂乱或空白反射,由于其高的速度值,地震剖面上同相轴出现上拉现象;扇中稍远离大兴断层,向湖盆推进,地震剖面上为强振幅反射,同相轴延伸较远;扇端位于浅湖至较深湖区,地震剖面上为高频、层状、强反射、连续性好的反射特征,与湖相暗色泥岩之间有一个突变界面或呈角度接触。

扇根为主水道沉积,以厚层块状砾岩、砂砾岩为主。砾石成分多为灰岩,含少量白云岩或火成岩,粒径最大达 10 cm,一般为 3~5 cm。砾石分选极差,单层砾岩厚度为 5~60 m。泥岩夹层薄,深灰、褐灰色,无化石。电阻率值为高阻—特高阻(20~100 Ω·m),形态呈箱形。

扇中为辫状水道沉积,以细砾岩和粗砂岩为主。沉积物显正韵律。砾岩层单层厚 3~10 m,砾石排列杂乱,大小悬殊,分选较差,小砾石显定向性,略显斜层理,碎屑支撑为主。泥岩夹层变多变厚,呈深灰、褐灰。电阻率值为高阻(10~30 Ω·m),形态呈松树型。

扇端为层状砾岩和泥岩互层,砾岩单层厚 0.5~3 m,见平行层理、波状层理(图 4)。

沉积剖面整体特征表现为:由下向上砾岩层数减少,厚度减薄;泥岩层数增多,厚度增大。

3 控制因素分析

朱庆忠等(2003)在对该套砾岩体的控制因素进行分析时,认为是凹陷中西部的大兴断层对其展布起到关键作用,并在沙三段下部对应三段断层的调节处识别了三个独立扇体^[8]。通过本次高密度的地震相成图和井—震相互标定,发现扇体分布特征与之有较大的差异,归结原因可能是对其控制因素缺乏全面认识造成的。作者认为,现代河湖沉积体系中展现的沉积面貌,除了点物源形式的沟—扇对应体系外,还随处可见线物源、面物

源的对应堆积体系,不能以点代线、以点代面。因此,无论其平面展布还是其控制因素绝非如此简单的“点-扇”对应关系。

3.1 湖平面变化

通过 1 km×1 km 密度的三维地震资料解释

和 156 口井沉积序列的井-震联合、相互验证,建立了廊固凹陷古近系三级层序的地层格架,共划分了 11 个三级层序(孔店组、沙四段划分了 3 个,沙三段划分了 4 个,沙一段至东营组划分了 4 个)^[12]。

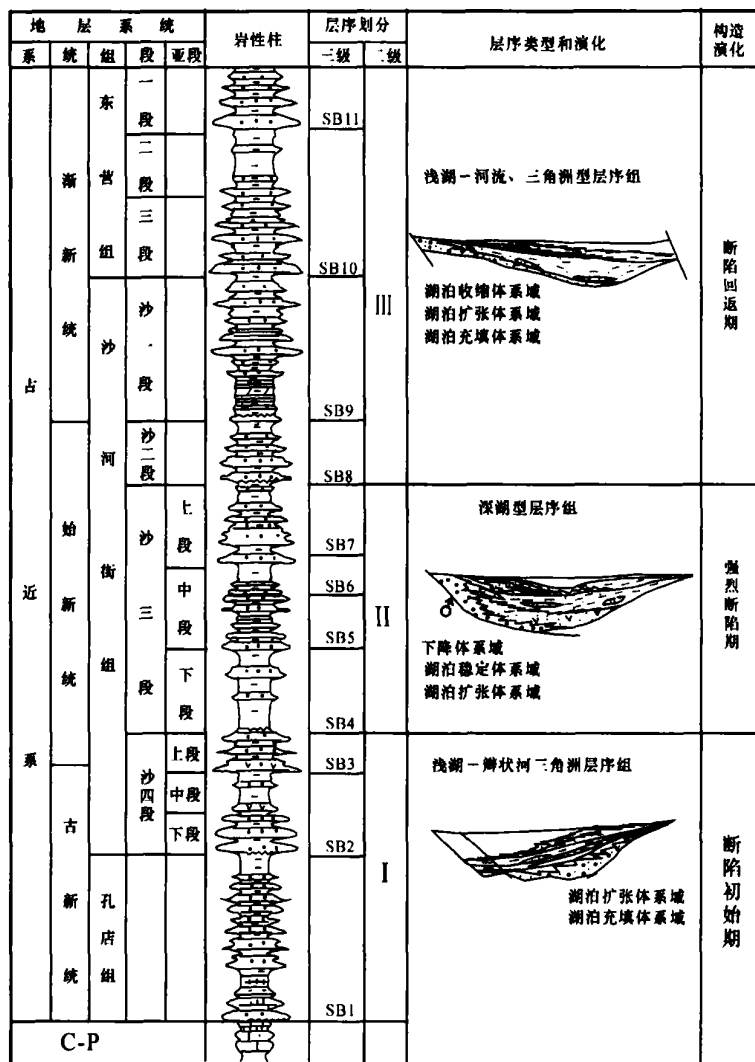


图 2 廊固凹陷古近系不同构造阶段层序叠加样式图

Fig. 2 The sequence superposition style in different tectonic segments of Paleogene strata in the Langgu depression

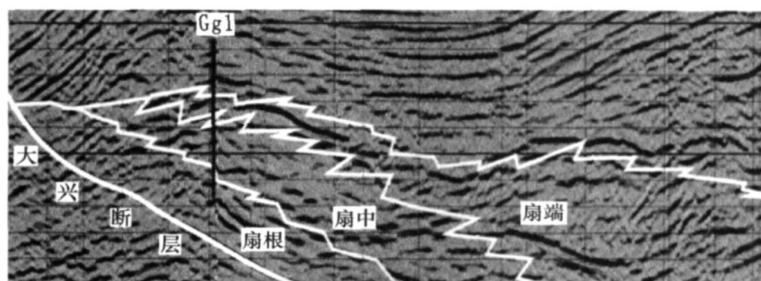


图 3 廊固凹陷沙三段近岸水下扇地震反射特征

Fig. 3 The seismic reflection characteristic of nearshore subaqueous fans in the 3rd member of Shanhejie Formation of the Langgu depression

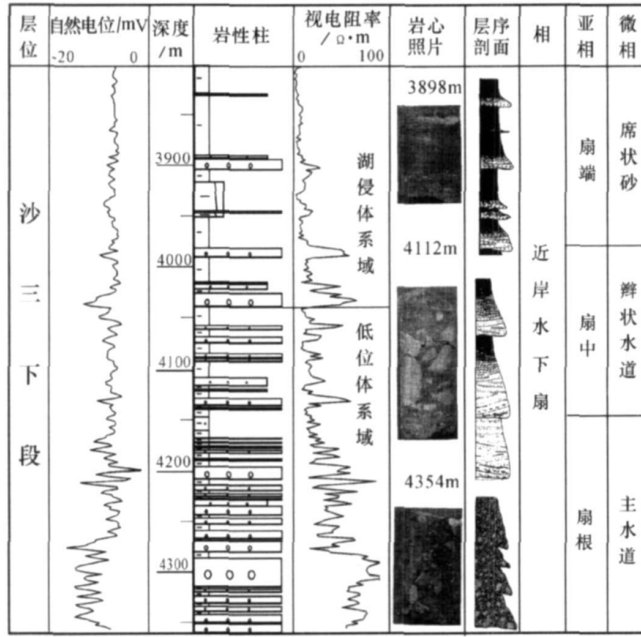


图 4 廊固凹陷古固 1 井近岸水下扇剖面图

Fig. 4 The profile of nearshore subaqueous fans in Well Gu 1, Langgu depression

在各级次三级层序内,通过单井砂砾岩厚度统计以及地震相的精确标定,应用层序-岩相古地理编图法编制平面图^[13],发现整个砂砾岩体在平面上展布和纵向上演化不是简单的呈扇状、朵状沿大兴断层转换处分布,发育于三级层序的各个体系域,说明该套扇体与三级层序的发育并没有密切关系(图 5)。

平面上共划分了五期扇体,断陷初期(图 5-A),由于地形高差相对较小,物源近,可容空间的增加主要依附在大兴断层一侧,发育了三个相互叠置、连片分布的扇体,砂砾岩体延伸短(2~5 km),扇体砂砾岩厚度等值线与地层厚度等值线趋势基本一致,说明该时期大兴凸起以线源供给为主。强烈断陷期,大兴断层强烈活动,提供的高可容纳空间使凹陷整体呈现非补偿沉积特点。大套厚层暗色泥岩的稳定发育为层序的划分和对比提供了可靠时间标尺,也为近岸水下扇期次的划分提供了可能。共发育了四个期次的近岸水下扇。前二期近岸水下扇在大兴断层中北段,呈条带状分布,在北段,主要为以点物源形式供给的孤立扇体。第三期扇体在大兴断层中段以南分布有限,主要发育在采育构造带。第四期仅发育三个孤立的、小面积分布的扇体(图 5-B)。由图可见,万庄地区和采育地区的砂砾岩体尽管储集条件相似,但并非同时期发育,不可简单对应起来制定开

发方案。强烈断陷后期及断陷回返期,湖水位升高漫过近物源,近岸水下扇沉积体系消失,发育扇

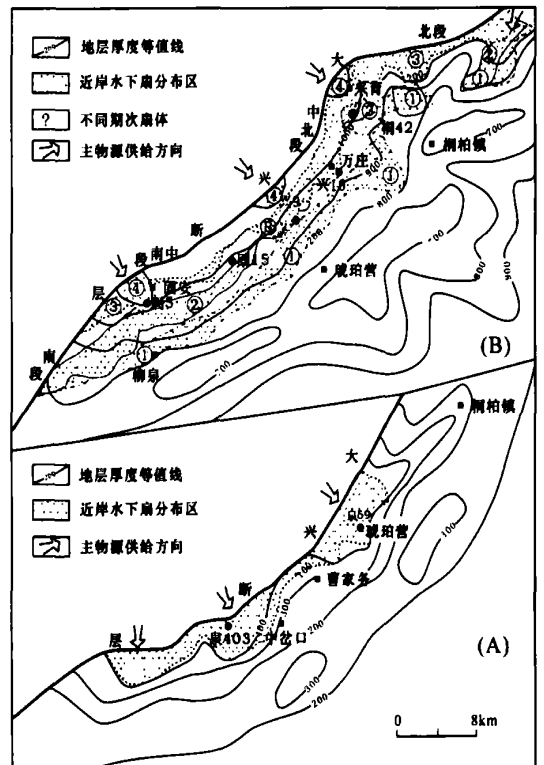


图 5 廊固凹陷古近系不同期次砂砾岩体分布图

Fig. 5 The distributing graph of sand-conglomerates in different times of Paleogene in the Langgu depression

(A)断陷初期;(B)强烈断陷期

三角洲与湖泊和辫状河三角洲+湖泊沉积体系组合。

通过以上分析认为,由于西部大兴断层强烈活动,造成了山高水深的地貌背景,且气候温湿,沉积物供应以西部物源为主,整个沉积过程表现为非补偿。层序以大面积的、持续湖侵为特征,沉积物表现为退积堆积样式。湖平面相对低时,扇体砂砾岩体相对富集,厚度较大;随着湖平面升高,扇体砂砾岩呈退积堆积样式,扇体砂砾岩体层数变少,厚度变薄。湖平面相对较高时稳定发育的厚层泥岩段是期次划分的主要依据。

3.2 大兴断层

大兴断层的演化同样经历了三个阶段,孔店组、沙四段沉积时期,在区域应力作用下,随大兴凸起的隆起,大兴断层开始发育;沙三段沉积早期,大兴断层开始分段强烈活动;沙三段沉积中晚期以后,断层活动性减弱。

大兴断层的活动特点导致相应近岸水下扇规律性分布。孔店组、沙四段沉积时期,廊固凹陷的沉积中心位于东部河西构造带,大兴断层未控制盆地沉积作用,在中西部近岸水下扇体分布有限。沙四段末、沙三下亚段沉积早期,断层活动强烈,同生性强且具有分段性^[14]。在这个时期,大兴断层的作用,其一是提供了山高水深的沉积背景,近岸水下扇依附大兴断层断面展布;其二是各分段的结合部位为主物源提供了通道;其三是各分段通过控制层序发育样式,进而控制近岸水下扇的分布。平面上看,各个期次的近岸水下扇沿断面呈带状、条带状叠加分布,仅在晚期呈孤立的扇体(图 3),说明大兴断层上盘作为物源供给地,供源形式复杂。

3.3 古气候

沙四段末、沙三段沉积初期,廊固凹陷进入强烈断陷期,在西高东低和山高水深的地貌景观上,形成了快速湖进背景下的广湖盆、深水体、东西分带的沉积面貌,是古近纪沉积历史中的全盛时期。

该时期气候温暖湿润、雨量充沛、季节性洪水发育^[11],是近岸水下扇储集体发育的最佳时期。

3.4 古物源

一般认为,断层下降盘根部接受山区过饱和及饱和的沉积物供给,远离断层处只能接受盆内局部物源提供的沉积物,沉积剖面显示沉积物欠饱和及饥饿充填样式。但是廊固凹陷沉积过程却

呈现背景欠饱和,而单独的沉积体系由于沉积速率高而过饱和特点,这可从近岸水下扇中砾石的成分得到解答。

通过薄片分析,近岸水下扇的主要储集体为碳酸盐质砂砾岩,其母岩易风化、颗粒大,仅在季节性洪水的强大动力下,方能进入湖盆堆积。根据砾石成分的差异又可分为不同的砂砾岩群:中南段的固安地区以较为纯净的碳酸盐岩屑砂砾岩为主;中北段为钙岩屑、含变质岩屑的砂砾岩;北段主要是碳酸盐岩屑,含量高达 72%~88%,其他各种岩屑含量少而全,含量约占 25%~30%。由此可见,没有物源区岩石易风化的物质保证,也不可能形成近岸水下扇。

3.5 古地貌

从凹陷基底地层分布图上看,发育于中西部的大兴凸起及古水系为近岸水下扇的发育提供了可能^[11]。随着大兴断层的强烈活动,导致了山高水深沉积格局的形成。物源区与沉积区落差大,剥蚀量大,沉积物供给量大,为该区近岸水下扇的形成提供了保障。

4 结论

a. 廊固凹陷近岸水下扇以砾岩、砂砾岩沉积为主,夹在深灰色泥岩之中,砾石分选、磨圆差,成分复杂。在垂向上自下而上依次发育扇根、扇中和扇端,组成了向上变细的正旋回结构。

b. 等时地层格架内稳定的厚层泥岩段和砂砾岩的物质组分特征,是划分近岸水下扇期次的可靠依据,共识别出五期扇体。

c. 其形成受三级层序的发育情况、大兴断层的强烈活动、古气候、古地形以及物源方向等多种因素的控制;但三级层序的发育情况、大兴断层分段活动、物源的供给条件三个因素的匹配对近岸水下扇的特征与分布起到了决定性作用。

成文过程中,华北油田地质勘探公司、勘探开发研究院、物探研究院等单位提供了大量基础研究资料,李秀华副教授提供了大量岩石薄片鉴定资料并予以具体指导和帮助,在此深致谢忱!

[参 考 文 献]

[1] 张金亮,沈凤,乌尔逊凹陷大磨拐河组近岸水下扇储层特征[J]. 石油学报,1991,12(3):25-35.

[2] 张萌,田景春.“近岸水下扇”的命名、特征及其储集性

- [J]. 岩相古地理, 1999, 19(4): 42-52.
- [3] 孙连浦, 刘招君, 李本才, 等. 水下扇岩相特征及形成机制[J]. 世界地质, 2001, 20(3): 249-256.
- [4] 张荣红, 余素玉, 邬金华. 陆相湖盆中沉积物供给因素对层序地层分析的影响[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1997, 22(2): 139-144.
- [5] PRABIR D. Architecture and facies pattern of a sub-lacustrine fan, J haria Basin, India[J]. Sedimentary Geology, 2002, 148: 373-387.
- [6] 李淳单. 家寺油田湖相斜坡扇沉积特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1999, 23(2): 11-13.
- [7] 张舒亭, 王锋, 黄海华. 廊固凹陷西部大兴砾岩体油气藏形成条件研究[J]. 西安石油学院学报, 1998, 13(4): 31-34.
- [8] 朱庆忠, 李春华, 杨合义. 廊固凹陷大兴砾岩体成因与油气成藏[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(4): 34-36.
- [9] 王连山, 朱庆忠. 廊固凹陷大兴砾岩体隐蔽油气藏储层预测研究[J]. 物探化探计算技术, 2003, 25(4): 308-311.
- [10] 鄢继华, 陈世悦, 姜在兴. 东营凹陷北部陡坡带近岸水下扇沉积特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2005, 29(1): 12-16.
- [11] 张文朝, 崔周旗, 韩春元, 等. 冀中坳陷老第三纪湖盆演化与油气[J]. 古地理学报, 2001, 3(1): 45-54.
- [12] 周文, 付恒, 宋荣彩, 等. 廊固凹陷下第三系层序地层学及隐蔽油气藏勘探方向[R]. 成都理工大学档案馆, 2005.
- [13] 田景春, 陈洪德, 覃建雄, 等. 层序-岩相古地理图及其编制[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(1): 6-12.
- [14] 赵红格, 刘池洋. 大兴断裂分段性研究[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 368-371.

An analysis of the characteristic and controlling factors of the Paleogene glutenite fan in the actic area of the Langgu Depression in Bohaiwan Basin, China

SONG Rong-cai¹, ZHANG Shao-nan¹, DONG Shu-yi², ZHOU Wen¹,
FU Heng¹, REN Wen-bo³, ZHANG Jiang-feng³

1. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610051, China;

2. Geosciences College, China University of Geology, Beijing 100083, China;

3. Exploration & Development Research Institute of Huabei Oilfield Branch Company, CNPC, Renqiu 062552, China

Abstract: The glutenites of nearshore subaqueous fans in the actic area of the Langgu depression migrate rapidly in the vertical and landscape orientations, are strong anisotropism, and difficult to explore. Thus, more study of the characteristics and controlling factors is required. According to the observation 541 m cores in 18 wells by the numbers, the establishment of 156 wells logging sequences, and the recognition of 1 km×1 km density seismic phase, this paper analyses the sediment characteristic and controlling factors on this glutenite at length. This glutenite lies in the dark mudstone, that is, the positive circle of progressive sequence. It can be divided five periods. From the bottom to up, the thickness reduces and the layer numbers become small. Through analysing the cause, the authors think that the formation of nearshore subaqueous fans is under the control of many factors, such as Daxing faults, palaeotectonics, palaeoclimatologies, palaeotopography, and matter supplementation, but three factors interaction is crucial function, that is, the change of lake level, the intense activity of Daxing faults and matter supplementation. The second and third fans are favorable objects in the next exploitation task.

Key words: Langgu depression; nearshore subaqueous fans; sedimentary characteristics; controlling factors; sequence; Daxing fault