

廊固凹陷近岸水下扇特征及控制因素

宋荣彩¹, 张哨楠¹, 董树义², 周文¹

(1. 成都理工大学 能源学院 四川 成都 610059; 2. 成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要: 通过对廊固凹陷 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, 分析了该沉积体系的相带展布特征。该砂砾岩层总体趋势为向上厚度减薄、层数减少, 共识别出 5 期扇体, 多呈条带状沿大兴断层断面分布, 每期之间发育稳定的暗色泥岩段。该近岸水下扇的形成受 3 级层序、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。3 级层序的发育特点、大兴断层的分段活动以及特殊的物源供给背景因素的匹配对近岸水下扇形成起到决定性作用。2~3 期扇体扇中分布范围广, 储集条件好, 是凹陷下一步开发工作的有利目标。

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

中图分类号: P512.2; TE121.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2007)02-0145-04

Characteristics and Controlling Factors Analyze of Nearshore Subaqueous Fans in Langgu Depression

SONG Rong-cai¹, ZHANG Shao-nan¹, DONG Shu-yi², ZHOU Wen¹

(1. School of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. School of Geosciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract More studies on the characteristics and controlling factors of the glutenites of nearshore subaqueous fans in Langgu depression are required due to the frequent migration in the vertical and landscape orientation, strong anisotropism, and exploration difficulty. After observing 541 m cores in 18 wells, establishing logging sequences of 156 wells, and recognizing 1 km×1 km seismic phase, the sediment characteristic and controlling factors of this glutenite are analyzed. This glutenite lies in the dark mudstone and the positive circle of progressive sequence. It can be divided into five periods. From the bottom, the thickness reduces and the layer numbers becomes small. It is thought that the formation of nearshore subaqueous fans is under the control of many factors, such as sequence, Daxing faults, palaeotectonics, palaeodimatologics, palaeotopography, matter supplementation, but the interaction of three factors is crucial function, that is the sequence development, 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

0 引言

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”。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。

张舒庭等对该砂砾岩体地震反射特征和成藏条

收稿日期: 2006-07-03

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司专题项目(20030303W C080)

作者简介: 宋荣彩(1975-), 女, 贵州瓮安人, 讲师, 博士研究生, 从事储层地质学研究。E-mail: songrongcai@126.com

件进行了分析^[1],认为是冲积扇-扇三角洲沉积体系。王连山等针对该砂砾岩体的横向展布进行了储层横向预测^[2],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。朱庆忠通过研究地震反射特征和沉积物的组合规律^[3],确信其是近岸水下扇沉积体系,但由于资料有限,并未对其沉积背景、构造背景、沉积演化作全面认识,致使得出的沉积模式单一,难以应用于实际生产中。

笔者结合前人研究成果和最新的钻井、岩心、地震等资料,对该套砂砾岩体纵、横向分布特征及控制因素进行了研究。

1 近岸水下扇概述

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^[4]。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,对其叫法有所不同:有水下冲积扇、水下扇、扇三角洲、近岸扇、近岸水下冲积扇、近岸水下扇、重力流水下扇、近源水下扇、近岸浊积扇、陡岸湖底扇、近源湖底扇、湖相斜坡扇等提法^[4-10]。综合上述提法并考虑与冲积扇、扇三角洲、湖底扇等沉积体系的区别,认为近岸水下扇的显著特点有:扇体发育于断陷湖盆强烈断陷期边界同生断层的下降盘;山高水深、近物源且母岩易受风化;扇体发育于湖相暗色泥岩中,可识别出扇根、扇中、扇端亚相;沉积物以重力流为主,可见牵引流沉积。

2 地质背景

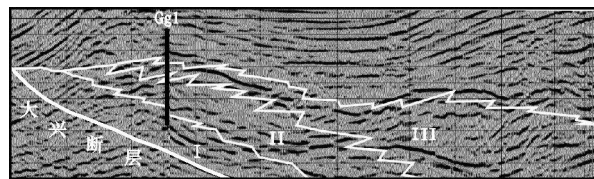
廊固凹陷是渤海湾盆地冀中拗陷北部一个西断东超的箕状凹陷,面积约 2 830 km²。古近纪经历了断陷初始期(孔店组—沙河街组四段)、强烈断陷期(沙河街组三段)和断陷回返期(沙河街组二段—东营组)构造演化阶段^[11]。大兴断层在沙河街组三段初始期随着盆地的强烈拉张而活动性增强,其上升盘持续抬升,上覆寒武系—中上元古界地层遭受强烈风化剥蚀,风化产物在洪水携带作用下,沿大兴断层断面进入凹陷较深水湖盆中,形成多期次近岸水下扇扇体在纵向和横向上的叠置。

3 相带特征

近岸水下扇的相带可分为扇端、扇中和扇

根^[3-4]或内扇、中扇和外扇^[9],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。

廊固凹陷中西部近岸水下扇在地震剖面上特征明显(图 1),可识别出扇根、扇中和扇端亚相。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。



I—扇根; II—扇中; III—扇端

图 1 廊固凹陷近岸水下扇地震反射特征

Fig. 1 Seismic Reflection Characteristic of Nearshore Subaqueous Fans in Langgu Depression

3.1 扇根主水道沉积

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,粒度最大 10 cm,一般 3~5 cm。砾石分选极差,单层砾岩厚度 5~60 m。泥岩夹层薄,深灰、褐灰色,无化石。电阻率为高阻—特高阻(20~100 Ω·m),形态呈箱形。

3.2 扇中辫状水道沉积

扇中为辫状水道沉积,以细砾岩、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。泥岩夹层层数变多变厚,呈深灰、褐灰,电阻率高(10~30 Ω·m),形态呈松树型。

3.3 扇端层状砾岩和泥岩互层沉积

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 2)。

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。

4 控制因素分析

朱庆忠等在对该套砾岩体的控制因素进行分析时,认为凹陷中西部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

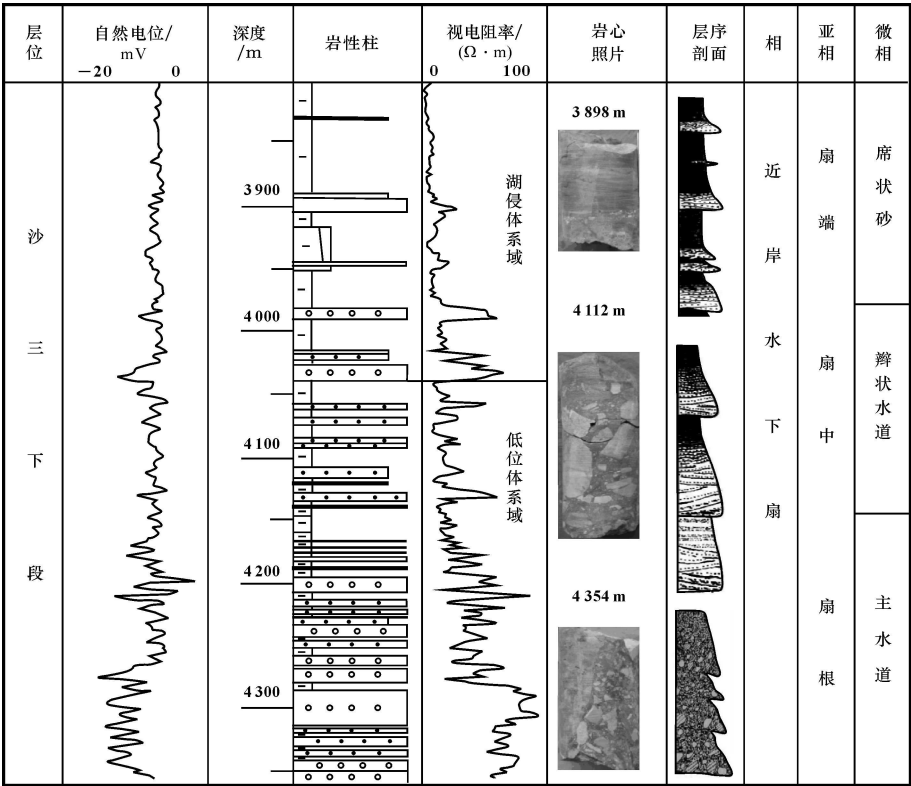


图 2 廊固凹陷古固 1 井近岸水下扇剖面

Fig. 2 Profile Chart of Nearshore Subaqueous Fans in Gg-1 Well, Langgu Depression

了 3 个独立扇体^[3]。通过大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,其原因可能是对其控制因素缺乏全面认识造成的。笔者认为,现代河湖沉积体系中展现的沉积面貌,除点物源形式的沟-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。

4.1 三级层序的发育

通过 1 km×1 km 密度的三维地震资料解释和 156 口井沉积序列井-震联合、相互验证,建立了廊固凹陷古近系 3 级层序的地层格架,划分了 11 个(孔店组、沙四段划分了 3 个;沙三段划分了 4 个;沙一段—东营组划分了 3 个)3 级层序^①。

在各级次 3 级层序内,通过单井砂砾岩厚度统计和地震相的精确标定,应用层序-岩相古地理编图法编制平面图^[12],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,而与 3 级层序的发育有密切关系。

断陷初期的层序如图 3(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 3 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划分和对比提供了可靠的时间标尺,也为近岸水下扇期次划分提供了可能。在 3 个层序内共发育 4 个期次的近岸水下扇。前 2 期近岸水下扇在大兴断层中北段呈条带状分布,主要是以点物源形式供给的孤立扇体。第 3 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 4 期仅发育 3 个孤立的、小面积分布的扇体如图 3(b)。由图 3 可见,万庄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发育的层序中,湖水位升高漫过近物源,近岸水下扇沉积体系消失,发育扇三角洲与湖泊和辫状河三角洲+湖泊沉积体系组合。

① 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.科研报告,2005.

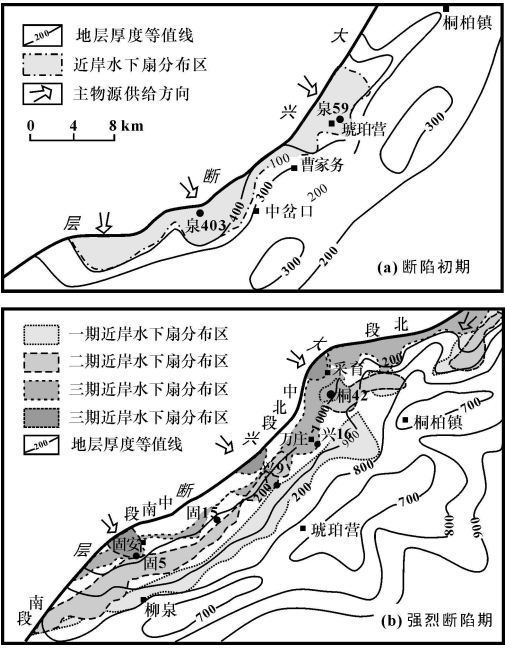


图 3 廊固凹陷不同期次砂砾岩体分布
Fig. 3 Distributing Graph of Sand Conglomerates
in Different Time, Langgu Depression

4.2 大兴断层

大兴断层的演化同样经历了 3 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、沙四段沉积期，廊固凹陷的沉积中心位于东部河西务构造带，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^[13]。在这个时期，大兴断层的作用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；二是各分段的结合部位为主物源提供了通道^[14]；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，各期次近岸水下扇扇体沿断面呈带状、条带状并叠加孤立扇状分布，仅在晚期呈孤立的扇体(见图 3)，说明大兴断层上盘作为物源供给地，供源形式复杂。

4.3 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。

4.4 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、单独的沉积体系由于沉积速率高而过饱和和特点，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，仅在季节性洪水强大动力下，方能进入湖盆堆积。根据砾石成分差异又可分为不同的砂砾岩群：中南段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，质量分数为 72%~88%，其他各种岩屑质量分数少而全，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。

4.5 古地貌

图 3 表明，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。

5 结语

(1)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。

(2)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 5 期扇体。

(3)其形成受 3 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 3 级层序的发育情况、大兴断层分段活动、物源的供给条件因素的匹配对近岸水下扇的特征分布起到了决定性作用。

成文中，华北油田地质勘探公司勘探开发研究院、物探研究院等提供了基础研究资料，李秀华副教授提供了岩石薄片鉴定资料和帮助，在此深致谢忱！

(下转第 157 页)

入贺兰山北部呼鲁斯台一带,并逐渐漫过中央古隆起,与东部华北三角海水连成一片,沉积了由潮坪相、泻湖相和三角洲相组成的太原组。在此沉积阶段内,出现了大片三角洲平原沼泽和泻湖沼泽,从而成为本区地质历史上重要的聚煤期。山西组沉积期,受华力西构造活动的影响,华北地台北缘逐渐抬升,北高南低的古地形格局更加明显,海水逐渐退出本区,代之以冲积河流相及三角洲相的空前发育。研究区总体呈现陆相湖盆三角洲沉积体系的景观,该时期,适宜的古地理、古气候条件有利于煤层的形成,并与太原组、羊虎沟组煤层、暗色泥岩一起组成上古生界的主要烃源岩。下石盒子组沉积期,继承并发展了山西组沉积期的沉积格局,地层继续向南及西南方向超覆,古地理延续了山西组沉积期的轮廓,为河流-三角洲-湖泊体系。上石盒子组沉积期,研究区在继承下石盒子组沉积期古地理格局的基础上,开始向内陆湖盆转化,古地理为以湖泊为主体的河流-湖泊体系并开始发育小型冲积扇。

研究区在二叠纪经历了陆表海盆地形成、发展、衰退以至逐渐消亡的历程,岩相古地理格局随

之经历了以台地-堡岛体系为主逐渐向以湖泊三角洲体系和河流体系为主的演化,并进一步由以河流为主向湖泊体系演化。受到沉积环境的影响,太原期、山西期古地理、古气候条件适宜,期间沉积的煤系暗色泥岩成为二叠系的主要烃源岩。

参考文献:

[1] 姚素平, 张景荣, 胡文瑄, 等. 鄂尔多斯盆地中生界煤成烃潜力的实验研究[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(1): 24-28.

[2] 程克明, 王铁冠, 钟宁宁, 等. 烃源岩地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1995.

[3] 汤锡元, 郭忠铭, 陈荷立, 等. 陕甘宁盆地西缘逆冲推覆构造及油气勘探[M]. 西安: 西北大学出版社, 1992.

[4] 孙国凡, 谢秋元, 刘景平, 等. 鄂尔多斯盆地的演化叠加与含油气性[J]. 石油与天然气地质, 1986, 7(4): 356-366.

[5] 汤锡元, 郭忠铭, 王定一. 鄂尔多斯盆地西部逆冲推覆构造带特征及其演化与油气勘探[J]. 石油与天然气地质, 1988, 9(1): 1-10.

[6] 孙肇才, 谢秋元. 叠合盆地的发展特征及其含油性——以鄂尔多斯盆地为例[J]. 石油实验地质, 1980, 2(1): 13-21.

[7] 张晓莉. 鄂尔多斯盆地中部上古生界沉积相演化[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(3): 26-29.

(上接第 148 页)

参考文献:

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] Prabir D. Architecture and facies pattern of a sublacustrine fan, J haria Basin, India[J]. Sedimentary Geology, 2002, 148: 373-387.

[9] 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.

[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. 冀中拗陷老第三纪湖盆演化与油气[J]. 古地理论, 2001, 3(1): 45-54.

[12] 田景春, 陈洪德, 覃建雄, 等. 层序-岩相古地图及其编制[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(1): 6-12.

[13] 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.

[14] 梁苏娟, 刘池洋, 王定一. 冀中拗陷下第三系构造背斜成因分类[J]. 西安工程学院学报, 2002, 24(1): 25-28.