doi:10.3799/dqkx.2012.076

北部湾盆地福山凹陷古近系流沙港组 层序地层样式及其研究意义

马庆林^{1,2},赵淑娥^{1*},廖远涛¹,林正良³

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室,湖北武汉 430074

2. 中石油南方石油勘探开发有限责任公司,广东广州 510240

3. 中国石化石油物探技术研究院,江苏南京 211103

摘要:为探究北部湾盆地福山凹陷古近系流沙港组层序地层样式,运用钻井、测井、地震等资料,建立了流沙港组等时层序地 层格架,在此基础上,综合考虑构造活动、盆缘背景、物源供给等影响因素,并结合福山凹陷在不同构造部位、不同层段以及层 序发育的时空差异性特点,将流沙港组层序构成样式总结为4种:断控陡坡型、多级断阶带型、挠曲坡折带型和斜坡型.通过对 以上层序样式特征及其内部沉积特点的研究,总结了在不同层序构成样式控制下发育的油气藏圈闭类型,为福山凹陷油气藏 勘探提供了重要的指导意义.

关键词: 福山凹陷; 古近系; 流沙港组; 层序样式; 沉积学; 油气藏. 中图分类号: P618.130.2 文章编号: 1000-2383(2012)04-0667-12 收稿日期: 2011-01-20

Sequence Architectures of Paleogene Liushagang Formation and Its Significance in Fushan Sag of the Beibuwan Basin

MA Qing-lin^{1,2}, ZHAO Shu-e^{1*}, LIAO Yuan-tao¹, LIN Zheng-liang³

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. China Southern Petroleum Exploration and Development Corporation, PetroChina, Guangzhou 510240, China

3. Sinopec Geophysical Research Institute, Nanjing 211103, China

Abstract: To explore the sequence stratigraphic architecture of Paleogene Liushagang Formation (Els) in the Fushan sag of Beibuwan basin, by using drilling, logging, seismic data, the isochronous sequence stratigraphic framework in systems tracts level has been established. Aiming at different tectonic units in Els of Fushan sag, with comprehensive consideration of tectonic activities, basin marginal background, provenance supply, etc., sequence strata architecture of Els can be extracted into four types, namely, fault controlling steep type, multi-stage fault terrace type, flexure break type, and gentle slope break type. The features of sequence architecture, different types of traps developed in different sequence architecture. It is of great significance to the hydrocarbon exploration in Els, Fushan sag.

Key words: Fushan sag; Paleogene; Liushagang Formation; sequence architecture; sedimentology; petroleum reservoirs.

层序地层学从成因上为沉积地层的形成和时空 分布规律研究提供了新思路(Posamentier and Vail,1988;Posamentier and Weimer,1993;樊太亮 和李卫东,1999;郭巍等,2002),层序构成样式是层 序地层学研究的重要内容之一.受构造活动演化、湖 平面变化、古气候及物源体系不同等因素影响,盆内 层序构成样式的形成具有一定的时空差异性(Smith and Jacobi,2001;Frimmel *et al.*,2002;Lin *et al.*, 2004),这种差异性控制了不同特征的砂体分散体 系、堆积样式和演化规律.因此对盆内层序构成样式

基金项目:国家十二五科技重大专项(No. 2011ZX05025-002);构造与油气资源教育部重点实验室基金项目(No. TPR-2011-24).

作者简介:马庆林(1973-),男,高级工程师,博士研究生在读,主要从事石油地球物理、沉积学、层序地层学研究.

^{*} 通讯作者:赵淑娥, E-mail: zhaoshue726@qq. com

进行深入分析,总结不同层序样式下油气藏类型分 布规律,对指导盆地的油气勘探具有重要意义.

福山凹陷为北部湾盆地东南缘的一个新生代陆 相断陷湖相盆地,由于新生代火山活动频繁,火成岩 大面积覆盖于地表或潜埋在古、新近系之下,对查清 福山凹陷内部结构带来巨大的屏蔽作用(石彦民等, 2007).近年来,在坚持地震技术攻关、努力克服火成 岩屏蔽作用的勘探原则下,以古近系流沙港组三段 和流沙港组一段为目的层段,福山凹陷油气勘探终 获突破,连续发现了美台、花场、白莲等油田,年产油 气能力达 30×10⁴ t(石彦民等,2007).然而流沙港 组作为该区最为重要的主力产层,近年来虽针对其 开展了一些沉积学(刘丽君等,2003;罗进雄等, 2007)、成藏方面(丁卫星等,2003;罗群和庞雄奇, 2008)的研究,但由于受到火成岩干扰、地震资料品 质较低等因素的影响,研究区总体上勘探程度仍 然很低,特别是对层序地层的研究以及在等时层序 地层格架下对油气藏的分布规律的认识程度不够, 加之凹陷内构造复杂,都是制约该区油气勘探的瓶 颈.本文综合利用大量地震、钻井等资料,建立福山 凹陷体系域级别的等时层序地层格架,阐明流沙港 组层序地层构成样式及其内部的沉积演化特征,并 在此基础上探讨了福山凹陷下一步的油气藏勘探 方向.

1 区域地质概况

福山凹陷是南海大陆架北部湾盆地延伸至海南 岛上的部分,位于北部湾盆地南斜坡东缘,为一个近 NEE向展布的中新生代凹陷(图1).其南侧以定安 断裂与海南隆起相接,北入琼州海峡,东以长流断裂 为界与云龙凸起相邻,西以临高断裂与临高凸起相 连,总体表现为东西向为被临高、长流断裂所控制的 双断,南北向为北断南超的箕状断陷特征.受边界断



图 1 福山凹陷区域地质图(据石彦民等,2007修改) Fig. 1 Sketch geological map of the Fushan sag

裂、海南隆起以及凹陷内部低凸起控制,其内部次一级构造单元可划分为南部斜坡带、中部构造带、皇桐次凹、白莲次凹、长流裙边构造带、北部断阶带(石彦 民等,2007)(图1).

根据邱中建和龚再升(1999)的研究,福山凹陷 主要经历了古近纪的伸展张裂阶段和新近纪的裂后 阶段,其中古近纪是福山凹陷的主要成盆期,沉积地 层最大厚度约8000m.总体上福山凹陷古近纪的沉 积充填过程可以分为3个主要阶段:(1)古新世至始 新世早期的初始断陷期,沉积了以冲积一河流相为 主的长流组地层;(2)始新世早至晚期的强烈断陷 期,沉积了流沙港组三段湖相三角洲砂泥岩,流沙港 组二段以湖相暗色泥岩沉积为主,流沙港组一段中 下粗、上细的砂泥岩组合地层;(3)渐新世时期的坳 陷快速充填期,沉积了巨厚的河流相涠洲组杂色砂 泥与砂砾岩层(图 2).

2 层序地层特征

2.1 层序划分

在陆相盆地中,构造活动对盆地充填的控制是 最重要的因素,构造演化过程分析是高级别层序地 层单元划分的基础(李思田等,1995;Cantalamessa et al., 2006).因此,层序级次划分实质就是对构造 运动特征及不整合面级别的识别与划分(张成和魏 魁生,2005).古近系流沙港组沉积期,福山凹陷发育



图 2 福山凹陷新生代层序地层与沉积充填序列(据石彦民等,2007修改) Fig. 2 Sequence stratigraphy and sedimentary filling succession in Paleogene in Fushan sag

过程可分为初始扩张期、深陷期和萎缩期,对应于构造演化及不整合面的识别,福山凹陷古近系流沙港组共识别出4个三级层序界面(对应的地震反射界面为T4、T5、T6、T7),划分为3个三级层序:流三段(SQE*ls*3)、流二段(SQE*ls*2)和流一段(SQE*ls*1)(图 2).

2.2 层序界面特征

层序界面识别、划分和追踪是层序地层学研究的基础,也是建立等时层序地层格架的关键.层序界 面在钻井、地震反射及测井响应等方面的特征与其 他部位的特征有明显区别,这些特征也就成了层序 界面的识别标志.

2.2.1 钻井层序界面特征 福山凹陷流沙港组层 序界面在岩性和测井响应上有明显的特征(图 3).

(1)层序界面通常情况下为下部层序高水位体系 域和上部层序低水位体系域的分界面.通常底部为高 水位体系域发育的粗粒特征,曲线形态表现为高幅漏 斗状;顶部为低水位体系域的中、低幅度漏斗形与湖 扩体系域钟形的组合形态.同时,当层序界面为不整 合面或较大沉积间断面时,界面上下地层岩相和压实 作用的差异性较大,因此其测井曲线的基值就会发生 明显改变.例如,A1 井流三段底界面(T7)及 A2 井流 二段底界面(T6)在钻井上所表现的特征.A1 井 T7 界面上下岩性的变化,反映了该界面为区域上重要的 沉积转换面,即由长流组冲积一河流相向流三段辫状 河三角洲相转换.A2 井 T6 界面之下发育流三段灰色 含砾中砂或细砂岩,夹杂深灰色泥岩,突变为界面之 上的流二段深灰色泥岩.

(2)层序界面是由构造运动事件引起的不整合 界面,在界面上下常见由于火山活动发育的火成岩 岩层或火山灰层,或由于沉积基准面下降引起河流 回春和河流形态的改变形成的底砾沉积.同时,伴随 着测井曲线基值发生明显变化.例如,A3 井 T5 界 面为重要的二级层序界面.在该界面之下主要为流 二段大套深色泥岩,在凹陷东部普遍发育一套火成 岩.界面上下岩性和测井曲线特征变化明显.

(3)强烈的不整合界面,对下部地层显示强烈削 截,由于界面上下沉积环境的不同和长时间的沉积 间断,造成界面上下的"跳"相.例如,A4 井 T4 界面 之下为流一段深灰色泥岩沉积夹薄层灰色粉砂岩 (高位三角洲沉积),界面之上突变为涠三段棕红至 灰色砂砾岩(河流相沉积).





2.2.2 地震层序界面特征 福山凹陷在其漫长的 地质演化过程中,发育了多个区域性的沉积间断面, 它们共同构成了盆地内不同级别的层序界面.这些 层序界面在地震剖面上往往存在着不协调的反射终 止类型,其识别标志主要包括发育于界面之上的上 超、下超和深切谷反射以及发育于界面之下的削截 和顶超反射等(图 4).

T7 为长流组顶界、流三段底界,该界面发育时 期凹陷沉降与伸展作用同时加强,断层活动剧烈.在 地震剖面上该界面表现为中低频、中强振幅、较连续 反射特征,局部可见削截:T6 为流三段顶界、流二段 底界,该界面发育时期凹陷强烈沉降,进入区域湖扩 时期,湖盆扩张范围最广.在地震剖面上表现为中 频、中振幅、较连续反射,界面之下可见流三段高位 三角洲进积产生的下超,界面之上可见流二段湖盆 扩张产生的上超等地震反射特征;T5为福山凹陷一 个重要的不整合界面,界面上下形成双层结构的断 裂系统,下构造层多为反向正断层,上构造层为正向 正断层.在地震剖面上表现为低频、中一弱振幅、较 连续反射.在凹陷东部花东一白莲地区流二段顶部 发育一套较厚的火成岩,分布较稳定,反射特征清 楚;T4为凹陷内重要的二级层序界面,在地震剖面 上表现为中振幅、中高频率、较连续反射.该界面发 育时期海南隆起抬升,湖盆萎缩,导致流一段地层再 次出露地表遭受剥蚀,因此,在凹陷南部斜坡区,可 见大量削截.

2.3 层序内部构成

综合岩心、测井、地震等资料分析,福山凹陷流

沙港组各层序内部体系域发育齐全(在研究区东部 流一段时期局部缺失低位体系域).低位体系域 (LST)以进积型准层序组为主,主要发育低位扇、低 位三角洲和下切谷充填,沉积物充填富含砂砾,储层 物性较好;湖扩体系域(EST)以退积型准层序组为 主,砂岩厚度较薄,泥岩厚度大,以湖相泥质沉积为 主,砂体多为薄层的小型湖扩三角洲沉积,湖底扇沉 积也有发育;高位体系域(HST)以前积型准层序组 为特征,测井曲线以齿状箱形和漏斗形为标志.但是 不同构造部位,不同层序内部体系域的沉积类型也 有明显差异.

选取典型地震剖面的精细层序地层解释及连井 层序地层对比,以求井震结合,进一步明确各层序内 部构成的空间展布及其变化(图 5). 在地层分布上, 自南部斜坡至北部断阶呈逐渐增厚的特征;在岩性 组成上,流沙港组自流三段、流二段至流一段在井上 均具有粗一细一粗的演变序列. SQEls3 时期,断层 活动强烈,为湖盆形成期;此时物源充足,沉积体系 分布范围广,全区低位、湖扩和高位体系域均发育, 以辫状河三角洲体系为主;在斜坡带下部,低位体系 域发育较大规模低位扇. 地震剖面可见较好的前积 反射特征,物源主要来自南部缓坡方向,为海南隆起 物源向盆内推进的结果. SQE1s2 时期,区域上为湖 扩展时期,碎屑体系供给减弱,砂体展布规模全面减 小.该时期,低位体系域仅在斜坡中下部发育低位三 角洲,湖扩体系域仅发育少量浊积体系,高位体系域 则主要为湖泊沉积,表明南部物源供给非常缺乏. SQEls1 时期,沉积体系的发育进一步受坡折型构造



图 4 福山凹陷流沙港组地震层序界面特征

Fig. 4 Characteristics of sequence boundary on seismic profile in Liushagang Formation in Fushan sag

Seismic sequence interpretation and sydepositional profile of wells correlation in Fushan sag

Fig. 5



古地貌控制,低位体系域不发育,湖扩体系域主要为 湖泊沉积,高位体系域碎屑体系供给再次增强,在坡 折带下部发育较大范围辫状河三角洲体系.坡折带 上部地层因受海南隆起抬升的影响,广泛遭受剥蚀.

3 层序样式及沉积演化及其研究意义

3.1 层序样式及沉积演化

层序构成样式与构造活动、盆缘背景、物源供 给、沉积体系类型及空间展布紧密相关,几种因素之 间又存在相互关联(Lin et al., 2001).福山凹陷流 沙港组沉积期断陷活动是一个逐渐增强一减弱的过 程,盆缘背景直接受构造活动控制,总体呈现由陡变 缓的趋势.沉积相类型与构造活动、盆缘背景类型也 存在因果关系(林畅松等,2000),如在强烈断陷期的 陡坡带,盆缘坡度大,扇三角洲发育,且规模较大;缓 坡带则主要发育辫状河三角洲体系.在断陷衰减期, 盆缘坡度变缓,扇三角洲和辫状河三角洲体系规模 变小.此外,即使在相同的盆缘背景和沉积相类型条 件下,沉积物供给方向及丰富程度不同,层序结构样 式也不尽相同.总之,不同演化阶段的同沉积构造活 动和物源供给条件控制下的不同盆缘背景和沉积相 类型及展布,造成了研究区层序样式的丰富多样性. 本文综合考虑构造活动、盆缘背景及物源供给等影 响因素,将研究区流沙港组层序地层总结为4种 样式.

3.1.1 断控陡坡层序样式 福山凹陷东部的长流 断裂为铲式正断层,断面整体较陡.金凤构造位于长 流断裂下降盘,表现为受长流断裂控制、长期继承发 育的断鼻构造.由于长流断层的持续活动、断距大, 形成地貌上坡度较陡的陡坡带,决定了金凤鼻状构 造在流沙港组时期表现为断控陡坡背景,堆积近物



图 6 流沙港组时期断控陡坡层序样式 Fig. 6 Sequence architecture of faulted steep slope of Els

源的粗碎屑物质厚度大,主要发育扇三角洲,但平面 分布规模和范围较小,常呈裙状产出.

流三段沉积期福山凹陷初始扩张,长流断裂带活 动强烈,其上盘长流组一流三段地层向下滑脱形成一 系列顺层派生断裂, 金凤断鼻开始形成. 受云龙凸起 物源供给,金凤断鼻构造在该时期的层序结构表现为 各体系域扇三角洲均比较发育,在三角洲前端发育远 端滑塌浊积体.砂体丰富,但由于近源快速堆积成因, 砂体成分、结构混杂. 流二段沉积期福山凹陷强烈断 陷,临高及长流断裂带活动强烈,湖侵范围进一步扩 大,同时,受云龙凸起物源供给影响,小型低位扇三角 洲、薄层的退积湖扩扇三角洲以及湖底扇相对较为发 育.高位域时期湖侵范围达到最广,云龙凸起物源供 给不足,因此高位域不发育三角洲沉积,而是沉积了 一套巨厚的暗色泥岩、页岩,成为该区主要的烃源岩. 至流一段时期,凹陷断陷作用衰减,长流断裂带活动 开始减弱,同时由于海南隆起的不断抬升,湖盆开始 萎缩,低位域不发育;湖扩域因缺少物源供给,沉积一 套巨厚的泥岩;高位域发育大型高位前积扇三角洲及 远端滑塌浊积体.扇体分布范围较大,推进距离远,储 层砂体丰富,物性较好(图 6).

3.1.2 多级断阶带层序样式 多级断阶带一般由 多条断层共同控制形成,可分为同向断阶带和反向 断阶带.在剖面上断层成阶梯状排列,形成多级断 阶,每级断阶为碎屑物质发育的场所;在平面上,各 断层之间又呈平行组合和帚状组合. 福山凹陷古近 系复杂的构造活动导致多级断阶带在南部斜坡普遍 发育,同时受临高断层和长流断层活动的影响,东西 部多级断阶带样式也有所不同.

东部流三段沉积时期,福山凹陷东部、南部斜坡 普遍发育多条南倾反向正断层.低位期辫状河三角 洲发育,凹陷边缘广泛暴露,发育小型下切谷充填沉 积,低位辫状河三角洲和盆底扇发育;因区域湖扩、 碎屑供给不足,湖扩期仅发育薄层辫状河三角洲砂 体;高位期辫状河三角洲规模相对较大,分布范围 广, 且在深湖区发育远端滑塌浊积体, 流二段早期多 条南倾反向正断层继承发育,晚期多条北倾正断层 开始发育.各体系域砂体规模均较小,低位期发育较 大规模的细粒低位辫状河三角洲和小型低位扇或低 位扇三角洲(沉积物粒度较粗);湖扩期湖盆扩张,海 南隆起碎屑供给不足,仅在斜坡区下部接受东部少 量物源供给发育小型粗粒扇三角洲,高位期在缓坡 边缘发育较细粒的小型高位辫状河三角洲.流一段 沉积期普遍发育多条北倾正断层,湖盆萎缩,低位域 发育范围小,主要为小规模的盆底扇沉积;湖扩期发 育薄层辫状河三角洲砂体;高位期三角洲相对较为 发育,展布范围较广,上部明显遭受剥蚀减薄,深凹 区接受来自云龙凸起的侧向物源供给,发育高位扇 三角洲沉积(图7).



西部多级断阶带层序样式与东部不尽相同

Fig. 7 Sequence architecture of multi-stage fault terrace slope of Els in the east of Fushan sag

图 7 东部流沙港组时期多级断阶带层序样式



图 8 西部流沙港组时期多级断阶带层序样式 Fig. 8 Sequence architecture of multi-stage fault terrace slope of *Els* in the west of Fushan sag

(图 8). 流三段时期南部斜坡带普遍发育多条北倾 正断层.海南隆起物源供给充足,以辫状河三角洲普 遍发育为特征.低位期发育盆底扇沉积;高位期发育 远端滑塌浊积体.流二段沉积期,凹陷边界断裂活动 强烈,西部美台断层活动亦非常剧烈,导致凹陷大幅 度沉降,同时湖盆扩张,因此各体系域砂体发育规模 均较小.低位期发育小型的下切谷、斜坡扇或低位三 角洲以及盆底扇沉积;湖扩期,沉积类型简单,主要 为薄层湖扩砂体,其前端发育小规模浊积砂体;高位 期在缓坡边缘发育小规模辫状河三角洲,以及接受 西部临高凸起侧向物源供给发育的小型扇三角洲. 流二段砂体规模较小,不能形成优质储层.流一段沉 积期,湖盆萎缩,物源供给充足,三角洲体系广泛发 育.低位期发育辫状河三角洲和盆底扇沉积;湖扩期 辫状河三角洲在斜坡中下部发育,盆内凹陷区发育 浊积扇体,可能为来自西部临高凸起短距离物源供 给形成;高位期辫状河三角洲广泛发育,同时接受西 部物源供给,发育高位扇三角洲.

3.1.3 挠曲坡折带层序样式 挠曲坡折带是在古梁、古断层、古潜山之上由披覆作用产生的,发育明显的坡折带,在坡折带下部有明显的上超和地层增厚现象,在坡折带上部可见地层削截,发育不整合接触.在伸展作用背景下,挠曲带的发育一般是隐伏式 正断层的断层扩展式褶皱作用在地表产生的构造结 果(任建业等,2004). 福山凹陷流沙港组挠曲坡折带 平面上主要发育在南部斜坡带白莲地区,垂向上主 要分布于流一段、流二段沉积时期.

挠曲坡折带在流二段开始发育,流一段特点最为明显.流二段沉积期,盆地处于区域湖扩展时期,碎屑供给缺乏,因而在具挠曲坡折的缓坡背景下,仅有小规模的低位三角洲在坡折带下部发育,凹陷区则发育小规模盆底扇.在坡折带上部主要以湖泊体系为主.流一段沉积时期,则具有典型的坡折型层序样式.越过坡折带,地层迅速加厚.低位域发育低位斜坡扇,分布于挠曲坡折带的下部;湖扩域发育辫状河三角洲,主要分布于坡折带中部;高位域发育大型辫状河三角洲及远端滑塌浊积体(图 9a).

3.1.4 斜坡型层序样式 斜坡型层序样式不同于 弯折带或断坡带构造坡折样式,在盆地缓坡古地形 上不存在从平缓到陡峻的突然坡折,所以沉积滨线 坡折难以被识别,因而,在构造古地形上不容易识别 出低位岸线的位置,在缓坡背景下辫状河三角洲较 为发育.福山凹陷斜坡型层序样式发育范围较广,主 要在流三段时期分布于凹陷西部的南部缓坡.

海南隆起物源供给量大,供给充足,南部缓坡持 续接受来自海南隆起的物源,因此辫状河三角洲比 较发育.西部临高凸起相对海南隆起而言物源供给



图 9 流沙港组时期挠曲坡折带层序样式(a)和斜坡型层序样式(b) Fig. 9 Sequence architecture of flexure slope break (a) and gentle slope break (b) of Els Formation

量少,碎屑体系推进距离短,仅在断坡带上发育小型 扇三角洲.

层序结构上,南部缓坡带低位域、湖扩域和高位 域辫状河三角洲体系均发育.低位域发育小型低位 三角洲,前端深凹区发育小型低位扇体;湖扩域时期 受区域湖扩影响,物源供给受抑制,在斜坡带中上部 发育薄层湖扩砂体;高位域发育大型辫状河三角洲, 其前端在深凹区发育滑塌浊积体.北部断坡带由于 物源供给不足,因而仅发育小规模扇三角洲体系 (图 9b).

3.2 层序地层构成样式研究在油气藏预测中的应 用探讨

前人的大量研究表明(任建业等,2004;严德天 等,2006;黄传炎等,2010),盆地发育的层序样式类 型不仅控制着盆内沉积相带展布,同样也影响着盆 内油气藏的发育.

金凤断控陡坡带边缘低位域发育大型扇三角洲, 三角洲前缘以沉积细砂岩为主,储层物性良好,湖扩 域沉积的厚层泥岩直接覆盖在低位域砂体之上形成 有效盖层,同时湖扩域密集段是优质烃源岩发育的有 利层段,可作为高位域扇三角洲砂体储层的烃源岩 层,同时由于断控陡坡带的控凹断层坡度较大,侧向 封堵性强,形成有利圈闭,进而易与低位域、高位域扇 三角洲砂体形成构造一岩性油气藏,如在该断控陡坡 带已钻探的 W15x 和 W16x 井(图 6)等多口井,分别 在流三段、流一段的低位、高位域扇体获工业油气流. 另外断控陡坡带靠近凹陷中心发育的盆底扇被包围 于厚层泥岩当中,易形成良好的岩性油气藏.多级断 阶带靠近湖盆中心部位,同沉积断层控制着辫状河三 角洲前缘砂体以及深湖浊积砂的发育和展布,三角洲 前缘砂、浊积砂体、深湖泥岩以及多级断块共同组合 容易形成断块一岩性复合型油气藏.南部斜坡白莲地 区发育的挠曲坡折带,坡折点之上发育的下切谷可成 为岩性油气藏发育的重要场所,坡折点之下发育的低 位域斜坡扇向凹陷中心尖灭于深湖泥岩之中,向上又 可与湖扩域厚层泥岩形成砂岩上倾尖灭,且底部接触 的层序界面往往是油气运移的主要通道之一,因此挠 曲坡折点之下易形成低位域斜坡扇上倾尖灭油气藏. 另外坡折之下发育的盆底扇通常储层物性较好,且与 烃源岩直接接触,可形成优质的岩性油气藏.斜坡型 层序样式发育带由于缺乏类似挠曲坡折带的弯折背 景,缺乏下切谷、低位域斜坡扇的发育,靠近凹陷中心 发育的盆底扇岩性圈闭是此类层序样式发育的主要 油气藏类型.

4 结论

(1)福山凹陷古近系流沙港组可划分为3个三

级层序:流三段、流二段和流一段.流三段低位、湖扩 和高位域发育齐全,粗碎屑沉积分布范围广;流二段 为凹陷湖扩期,主要为大套的暗色泥岩沉积,粗碎屑 沉积主要分布于低位域;流一段粗碎屑沉积主要集 中分布在高位域.

(2)受构造活动控制及物源供给等因素影响,福山凹陷流沙港组沉积期,在不同构造部位主要发育 4种层序样式:断控陡坡型、多级断阶带型、挠曲坡 折带型及斜坡型层序样式.

(3)在断控陡坡带靠近控凹断层附近容易发育 构造一岩性油气藏;多级断阶带向湖盆中心方向容 易发育断块一岩性复合型油气藏;挠曲坡折带坡折 点之上发育的下切谷多为岩性油气藏发育的重要场 所,而坡折点之下的低位域斜坡扇易形成上倾尖灭 油气藏,远端靠近凹陷中心的盆底扇易形成岩性油 气藏;斜坡型层序样式内以寻找盆底扇岩性油气藏 为主.

References

- Cantalamessa, G., Celma, C. D., Ragaini, L., 2006. Tectonic controls on sequence stacking pattern and along-strike architecture in the Pleistocene Mejillones Formation, northern Chile: implications for sequence stratigraphic models. *Sedimentary Geology*, 183(1-2):125-144. doi:10.1016/j. sedgeo, 2005.09.010
- Ding, W. X., Wang, W. J., Ma, Y. J., 2003. Characteristics of Liushagang Formation petroleum system in Fushan depression of Beibuwan basin. Of fshore Oil, 23(2): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- Fan, T. L., Li, W. D., 1999. A successful case on sequence stratigraphy applied to the prediction of non-marine oil reservoir. Acta Petrolei Sinica, 20(2): 12-17 (in Chinese with English abstract).
- Frimmel, H. E., Föilling, P. G., Eriksson, P. G., 2002. Neoproterozoic tectonic and climatic evolution recorded in the Cariep belt, Namibia and South Africa. *Basin Research*, 14(1): 55-67. doi: 10.1046/j.1365-2117. 2002.00166. x
- Guo, W., Liu, Z. J., Dong, Q. S., et al., 2002. Oil and gas gathering rule in the sequence stratigraphic frame of fault depression Lacustrine basin: an example from Songtao basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition*), 32(3): 233-237 (in Chinese with English abstract).
- Huang, C. Y., Wang, H., Zhou, L. H., et al., 2010. Sequence pattern controlled by structural evolution of Jiannan

buried-hill in Huanghua depression. *Journal of Central South University* (*Science and Technology*), 41(2): 692-699 (in Chinese with English abstract).

- Li, S. T., Lin, C. S., Xie, X. N., et al., 1995. Approaches of non-marine sequence stratigraphy: a case study on the Mesozoic Ordos basin. *Earth Science Frontiers*, 2(3-4):133-136 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C. S., Eriksson, K., Li, S. T., et al., 2001. Sequence architecture, depositional systems, and controls on development of Lacustrine basin fills in part of the Erlian basin, northeast China. AAPG Bulletin, 85(11): 2017 2043. doi: 10. 1306/8626D0DB 173B 11D7 8645000102C1865D
- Lin, C. S., Pan, Y. L., Xiao, J. X., et al., 2000. Structural slope-break zone: key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basins. *Earth Science—Journal of China Uni*versity of Geosciences, 25(3): 260-265 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C. S., Zheng, H. R., Ren, J. Y., et al., 2004. The control of syndepositional faulting on the Eogene sedimentary basin fills of Dongying and Zhanhua sags, Bohai bay basin. *Science in China* (Ser. D), 47(9): 769-782. doi: 10.1360/03yd, 0203
- Liu, L. J., Kuang, H. W., Tong, Y. M., et al., 2003. Sedimentary systems and evolution characteristics of Lower Tertiary Liushagang Formation in Fushan sag. *Oil and Gas Geology*, 24(2): 140-145 (in Chinese with English abstract).
- Luo, J. X., He, Y. B., Gao, Z. Z., et al., 2007. Gravity flow deposits of Paleogene Liushagang Formation in Fushan sag, Hainan Province. Of fshore Oil, 27(3): 13-21 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Q., Pang, X. Q., 2008. Reservoir controlling mechanism and petroleum accumulation model for consequent fault and antithetic fault in Fushan depression of Hainan area. *Acta Petrolei Sinica*, 29(3): 363-367 (in Chinese with English abstract).
- Posamentier, H. W., Vail, P. R., 1988. Eustatic controls on clastic deposition II: sequence and systems tract models. In: Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Van Wagoner, J., et al., eds., Sea level changes: an integrated approach. SEPM Special Publication, 42: 125-154. doi: 10.2110/pec. 88.01.0125
- Posamentier, H. W., Weimer, P., 1993. Siliciclastic sequence stratigraphy and petroleum geology: where to from here? AAPG Bulletin, 77(5): 731-742. doi: 10.1306/ BDFF8D3A-1718-11D7-8645000102C1865D

- Qiu, Z. J., Gong, Z. S., 1999. Hydrocarbon exploration in China, vol. 4, near shore hydrocarbon area. Geology Press, Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Ren, J. Y., Lu, Y. C., Zhang, Q. L., 2004. Forming mechanism of structural slope-break and its control on sequence style in faulted basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 596-602 (in Chinese with English abstract).
- Shi, Y. M., Liu, J., Zhang, M. Z., et al., 2007. Experience and understand in oil and gas exploration in Fushan sag, Hainan Province. South China Journal of Seismology, 27 (3): 57-68 (in Chinese with English abstract).
- Smith, G. J., Jacobi, R. D., 2001. Tectonic and eustatic signals in the sequence stratigraphy of the Upper Devonian Canadaway Group, New York State. AAPG Bulletin, 85 (2): 325 357. doi: 10. 1306/8626C7D5 173B 11D7-8645000102C1865D
- Yan, D. T., Wang, H., Wang, J. H., et al., 2006. Analysis of the Cretaceous sequence-stratigraphic pattern and controlling factors in Kuna foreland basin. Acta Sedimentologica Sinica, 24(6): 841-848 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C., Wei, K. S., 2005. Sequence characteristics and reservoir formation condition in the southern Wuerxun depression. Acta Petrolei Sinica, 26(2): 47-52 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

丁卫星,王文军,马英俊,2003. 北部湾盆地福山凹陷流沙港 组含油气系统特征. 海洋石油,23(2):1-6.

樊太亮,李卫东,1999. 层序地层应用于陆相油藏预测的成功

实例.石油学报,20(2):12-17.

- 郭巍,刘招君,董清水,等,2002. 断陷湖盆层序地层格架中的 油气聚集规律——以松辽盆地为例. 吉林大学学报(地 球科学版),32(3):233-237.
- 黄传炎,王华,周立宏,等,2010.黄骅坳陷涧南潜山构造演化 对层序样式的控制.中南大学学报(自然科学版),41 (2):692-699.
- 李思田,林畅松,解习农,等,1995.大型陆相盆地层序地层学 研究——以鄂尔多斯中生代盆地为例.地学前缘,2 (3-4):133-136.
- 林畅松,潘元林,肖建新,等,2000."构造坡折带"——断陷盆 地层序分析和油气预测的重要概念.地球科学——中 国地质大学学报,25(3):260-265.
- 刘丽君, 旷红伟, 佟彦明, 等, 2003. 福山凹陷下第三系流沙港 组沉积体系及演化特征. 石油与天然气地质, 24(2): 140-145.
- 罗进雄,何幼斌,高振中,等,2007.海南福山凹陷古近系流沙 港组重力流沉积研究.海洋石油,27(3):13-21.
- 罗群,庞雄奇,2008.海南福山凹陷顺向和反向断裂控藏机理 及油气聚集模式.石油学报,29(3):363-367.
- 邱中建,龚再升,1999.中国油气勘探,第四卷,近海油气区. 北京:地质出版社、石油工业出版社.
- 任建业,陆永潮,张青林,2004. 断陷盆地构造坡折带形成机 制及其对层序发育样式的控制. 地球科学——中国地 质大学学报,29(5):596-602.
- 石彦民,刘菊,张梅珠,等,2007.海南福山凹陷油气勘探实践 与认识.华南地震,27(3):57-68.
- 严德天,王华,王家豪,等,2006. 库车前陆盆地白垩系层序地 层样式及控制因素分析. 沉积学报,24(6):841-848.
- 张成,魏魁生,2005. 乌尔逊凹陷南部层序地层特征及成藏条 件. 石油学报,26(2):47-52.