

文章编号 :1000-0550(2001)04-0563-06

# 南海北部湾盆地北部凹陷涠洲组 层序地层格架及特征

杜振川<sup>1</sup> 魏魁生<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>河北建筑科技学院 河北邯郸 056038) (<sup>2</sup>中国地质大学 北京 100083)

**摘要** 通过地震、测井和岩心等资料及重矿物变化规律的综合分析,识别出沉积基准面旋回产生的层序界面,在北部湾盆地北部凹陷涠洲组划分出 3 个超层序 9 个三级层序,并研究了各层序发育的特征及沉积体系构成。盆地充填超层序的发育受控于中长周期基准面变化,层序地层单元在中长周期基准面旋回中所处位置不同,其地层厚度、沉积体系的类型和分布均有显著的不同。通过分析对比确认主要控油层序为超层序 1 的层序 2 和 3,主要储层赋存于低水位和水进体系域。以基准面旋回为基础,论述了层序与油气储盖组合的关系。

**关键词** 北部湾盆地 可容纳空间 层序 沉积体系

**第一作者简介** 杜振川 男 1958 年出生 副教授 沉积学

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

南海北部湾盆地是一个中、新生代发育起来的断陷盆地,在构造区划上,以盆地中部近东西向企西隆起为中轴形成南北两个拗陷区,北部拗陷区涠西南凹陷等呈“北断南超”南部拗陷区海头北凹陷等呈“南断北超”,使盆地内各凹陷均构成箕状断陷的构造格局<sup>[1]</sup>。这些断裂在早第三纪沉积期均为同沉积断裂,在下降盘接受了长流组、流沙港组、涠洲组陆相沉积岩系,其中在北部凹陷沉积厚度最大达 4 600 m。

## 1 层序划分与级次

北部湾盆地涠洲组沉积期盆地经历了再裂陷、扩张、消亡期,盆地演化不同阶段的记录为性质不同的超层序,并且各层序所含的沉积体系及体系域特点不同。为了正确划分层序、识别不同沉积体系域,在研究中,以测井资料、钻井岩心资料为基础,对地震剖面进行了约束反演。

首先在钻井剖面上进行层序划分,把钻井深度与地震剖面的时间建立对应关系,建立声波层速度与岩性特征之间的关系,最后综合应用声波时差、声波层速度、地震合成记录和岩性剖面进行拟合,对地震剖面进行标定,最后在地震剖面上进行追踪,划分层序。根据以上思路,在进行了 22 口关键井的测井曲线旋回与形态分析,4 口井岩心相分析,若干地震剖面的反射终止方式(上超、下超、顶超、削截等)分析,主要地震反射波组属性分析,对涠洲组划分出 3 个超层序 9 个三级层

序。

在盆地充填序列中,通常以重大构造运动形成的区域性构造不整合界面做为 I 级界面,所划分的层序地层单元为巨层序。而以反映记录了构造过程的性质及构造事件的阶段性和区域性间断面做为 II 级界面,通常是暴露侵蚀不整合—古构造运动面,所划分的层序地层单元为超层序,在北部湾盆地北部凹陷下第三系涠洲组可划分为 3 个超层序,超层序 1 包括层序(1—3),发育于盆地裂陷后萎缩—再裂陷早期,超层序 2 包括层序(4—6),发育于盆地再裂陷晚期,超层序 3 包括层序(7—9),发育于盆地裂陷后萎缩—消亡期。III 级层序是比超层序次一级的地层单元,形成于多旋回构造运动的幕式之间,受控于海平面相对变化,以不整合及横向与之可对比的整合为界,这种不整合通常是沉积基准面下降,早期形成的地层暴露地表遭受侵蚀而形成的侵蚀不整合,它以源区侵蚀作用、物源供应量增加和边缘沉积总体明显向盆地迁移为主要鉴别标志<sup>[2~3]</sup>。

## 2 层序特征分析

### 2.1 超层序 I(层序 1—3)

发育于盆地裂陷后萎缩—再裂陷早期,此期沉积盆地主要受边界断层的控制,呈现“北断南超”的箕状断陷格局。断裂活动造成巨大的地形高差和快速的沉积物供应,在断层的内侧形成冲积扇、近岸扇及扇三角

洲沉积。在 seismic 剖面上从边界断层向凹陷中央呈现杂乱—空白反射、楔状—帚状斜交前积反射和较连续—断续、平行—亚平行反射三个地震相带,反映了沉积物供应由近源到远源的横向变化。在缓坡发育下切河道,呈 S 型和斜交—S 复合型辫状河三角洲、斜坡扇、复合扇<sup>[4]</sup>等沉积体系。此期构造沉降速率等于或若小于沉积物供应速率,层序 2 和层序 3 低水位体系域发育粗粒沉积占主导地位,分布有湖底扇、三角洲、斜坡扇、近岸扇、扇三角洲和河流—冲积体系。水进(湖侵)和高水位体系域发育有沙滩、砂坝、辫状河三角洲、扇三角洲及河流—冲积体系。

## 2.2 超层序 2 (层序 4—6)

发育于盆地再裂陷晚期,包括层序 4—6,此期边界断层仍在活动,并在凹陷内部形成“V”型断槽的深水区,基底的连续沉降,使湖区扩张湖水变深,多水系式河流下切作用强烈,深入腹地半深湖区。物源方向多,缓坡多个辫状河道形成辫状河三角洲裙复合体。陡坡主要为扇三角洲及湖底扇,地震反射杂乱,此带在凹陷中部某些地段消失,变为斜交前积、较连续至断续、甚至杂乱的弱反射结构,地震相与超层序 1 相比具有较大差异。各层序低水位体系域空间叠置方式与海相相似,湖底扇之上覆盖斜坡扇—低水位楔或覆盖三角洲体系。水进(湖侵)和高水位期,水域向外扩展加深,发育三角洲、扇三角洲及滨浅湖、半深湖沉积等。

## 2.3 超层序 3 (层序 7—9)

由于断陷作用大为减弱,影响沉积层序的主要因素为气候和沉积物供应,长期剥蚀使地形高差变小,湖域由大变小,水体变浅,除凹陷边部有河流—冲积体系外,各体系域沉积相分带性不甚明显。地震反射呈中—高振幅—强连续性,形成以泥质、粉砂质为主的盖层沉积。此后,盆地消亡,断裂活动基本停止,可容空间很小,湖盆渐淤满,仅在“V”形断槽内局部残留滨浅湖沉积,取而代之的是发育河流—泛滥平原沉积。继后的区域构造作用,使断层复活、凹陷整体抬升,原地层遭受强烈侵蚀,致使部分地层缺失,从而形成巨大的区域不整合。

## 3 主要控油层序沉积体系的时空展布特征

依据已往勘探油气藏与沉积层序的对应关系分析,主要油层赋存于层序 2 和层序 3,由此展开在层序格架内沉积体系的追踪。

层序 2 发育期,凹陷北侧 1 号边界断裂的活动,使凹陷呈“北断南超”的箕状,中央隆起把凹陷分成南北两个深水区,沉积地层在东部及南部缓坡逐渐变薄尖

灭,水体浅,边缘相发育,岩性以砂岩夹泥岩沉积为主。低水位时期,凹陷东部和南部缓坡大部分暴露,河道下切作用特别是凹陷东部尤为活跃,河道一直延伸至凹陷内部。陡坡发育有冲积扇、扇三角洲、湖底扇、缓坡发育有斜坡扇、复合扇及三角洲等沉积体系。湖底扇主要分布于中部和西部,其典型地震反射为双向下超,它们由宽阔水道、席状流沉积或盆地扇组成,上覆斜坡扇、复合扇或三角洲沉积。斜坡扇由碎屑流、浊流和辫状河道组成,复合扇为河流—三角洲、岸带及重力流多成因型扇体,复合扇之上覆盖三角洲沉积体系,在空间上呈相邻位置,也见于高水位体系域,斜坡扇和复合扇两者均成 S 型前积结构。水进(湖侵)体系域发育有沙滩、砂坝及扇三角洲、湖底扇、近岸扇等沉积。高水位体系域含扇三角洲、三角洲前缘、复合扇、沙滩、砂坝等沉积(图 1)。此期主要物源为北西和南东向,次要物源为南北向。

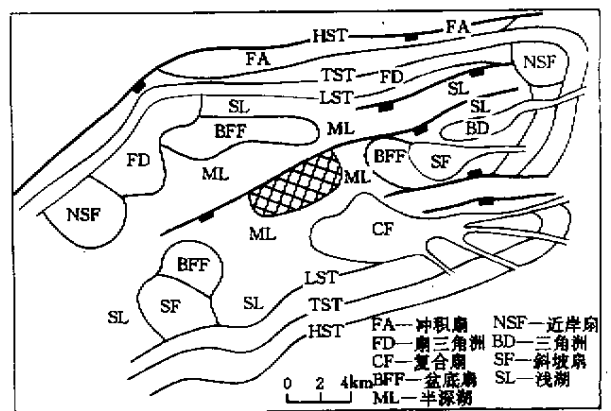


图 1 北部凹陷层序 2 沉积体系平面分布图

Fig. 1 The distribution of sedimentary systems in Sequence 2 of the North sag

层序 3 发育期,其沉积背景与层序 2 相似,主物源供应仍为北西和东部缓坡。低水位体系域发育有扇三角洲、湖底扇、斜坡扇、滑塌扇、三角洲及冲积体系。湖底扇分布于凹陷中部,受凹陷内“V”字型断层所控制。斜坡扇仅见于西南部,由块状砂岩夹泥岩组成,测井曲线呈箱状,在 seismic 剖面上呈下超并覆盖于双向下超的湖底扇之上。滑塌扇位于西南部边缘,呈杂乱状反射结构。三角洲沉积由钻井资料揭示分流河道尤为发育,在 11-4N-1 井的四套油层中,三套隶属于低水位体系域,分属于水下分流水道、洪水型浊流—碎屑流沉积;一套属于水进体系域水道充填沉积。水进(湖侵)体系域,在凹陷西南部发育有洪泛型浊积岩,水下水道、沙滩、砂坝及三角洲前缘席状流沉积等。高水位体系域含扇三角洲、三角洲、沙滩、砂坝等沉积体系(图 2)。



值得一提的是在凹陷东南部斜坡地带河道尤为发育,伸入腹地与东部远岸峡谷水道混合,形成由一系列扇朵体叠复而成的复合扇<sup>[4]</sup>(图1),水道砂相互叠置,在钻井剖面上,由若干个向上变细的准层序组叠合而产生一个总体向上变粗、变厚的序列(图3)。Normark建立的扇生长模式<sup>[6]</sup>,认为由于扇体从大陆斜坡向盆地方向进积,因而斜坡沉积超覆上扇沉积,上扇超覆中扇,中扇沉积前积到远端扇之上,砂体单层厚度向上增加,准层序以向上变细为主,但整个扇复合体是以总体向上变粗和加厚为特征。

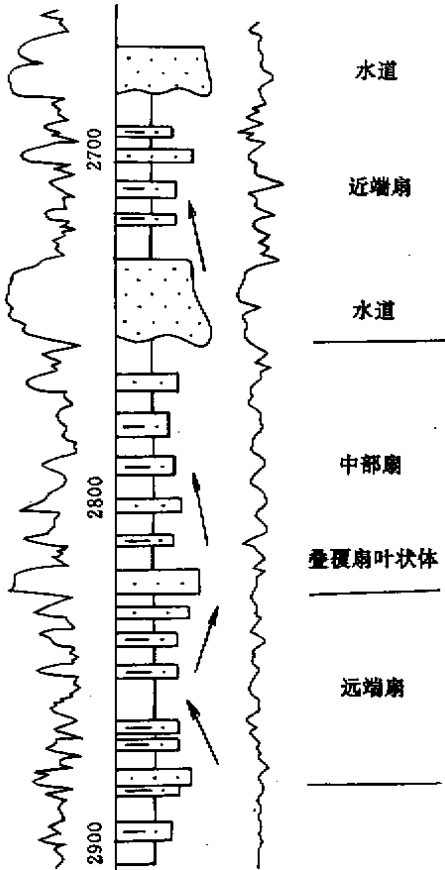


图3 复合扇的垂向沉积序列(涠12-1-2)

Fig.3 The sedimentary sequence of composite fan

随基准面的快速上升,可容纳空间不断增大,剥蚀作用减弱,沉积物供应逐渐减少,湖泛作用产生,在凹陷内,厚层泥岩直接覆盖于水道砂岩之上,沉积物大部堆积在不断上超的岸线附近,沉积有沙滩、砂坝及三角洲前缘席状砂,准层序为退积型,测井曲线以钟形为特征的水进(湖侵)体系域。

基准面上升至最大到缓慢上升、后转至缓慢下降,可容纳空间增长速率最大至增长速率开始减小,形成高水位体系域,沉积物向凹陷进积,砂体厚度向上逐渐增大,泥岩厚度减低,此期主要发育向上变浅的扇三角洲—三角洲体系,晚期可出现河流沉积体系。

超层序2处于中长周期基准面旋回缓慢上升期,随可容纳空间增大,沉积范围不断扩大,在缓坡地层上超到下部流沙港组地层之上,从涠12-1-1等井分析看,分支河道砂体及河口坝砂体较超层序1沉积期薄,粒度相对较细,泥岩增多,反应了沉积物供应的减少,沉积速率的降低。在陡坡已没有明显的主物源供应,仅在涠5-5-1及涠6-3-1井附近发育有扇三角洲沉积。

超层序3处于中长周期基准面旋回缓慢上升至缓慢下降期,随可容纳空间的逐渐减少,沉积速率超过凹陷速率,每一个短期旋回均较下部相邻旋回砂岩厚度增大、层数增多,泥岩减少、厚度变薄,表明砂体逐渐向湖盆进积,高水位体系域发育,以广泛发育三角洲体系、近岸水下扇体系、深水浊积扇、滑塌扇为特征。在层序9沉积期,凹陷的拉张陷落作用减弱并趋于停止,完成了一个基准面升降变化旋回,沉积物向湖内进积,发育有前积结构的三角洲,扇三角洲及河流—冲积体系,晚期凹陷已趋于准平原化,仅在“V”型断槽内残留滨浅湖沉积。

## 5 重矿物变化与体系域、密集段

据研究在北部湾盆地北部凹陷下第三系重矿物有30余种,以陆源重矿物锆石、石榴石、白钛矿、磁铁矿、电气石和自生黄铁矿、重晶石等较为富集。

在层序地层分析中,通过对重矿物种类、含量、粒度、圆度、组合类型等及在横向和纵向上的变化,不但可以追溯主物源区,而且有助于层序的划分与对比、体系域与密集段的分析。低水位体系域,随基准面下降,盆地周缘先期沉积的地层暴露,剥蚀区与盆内高差大,侵蚀作用加剧,碎屑物通过“下切谷”被输送到盆地内,以各种扇体的形式堆积下来,大多为近源,物质供应速度大、速率高,陆源重矿物丰富、类型多、粒度粗、圆度差。水进体系域,沉积物的补给速率小于可容空间的增长速率,随着可容空间的不断增大,进入盆地的沉积物供应逐渐减少,重矿物含量也相对减少。密集段形成于最大水进期,此时可容空间达到最大,沉积物供应速率极低,沉积作用缓慢,因此陆源重矿物含量最低、粒度细、圆度好。当相对湖平面上升速率开始下降时,物源作用增强,形成沉积作用不断向盆地方向推进的高水位体系域,此期水动力条件稳定,沉积物供应速度大、但速率低,重矿物含量介于密集段与低水位体系域之间。

据研究涠洲组黄铁矿、重晶石和碳酸盐等自生矿物较为发育,指相矿物海绿石时有可见。在密集段自生矿物黄铁矿、重晶石、菱铁矿发育普遍、含量高,黄铁矿多呈莓状、球粒状分布于暗色泥页岩中,黄铁矿和重

晶石的共生产出,说明  $Fe^{2+}$ 、 $S^{2-}$  含量高,  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  比值低,反映了局限流通的深水还原环境。低水位体系域自生矿物含量低,碳酸盐类自生矿物主要为白云石和铁白云石。水进和高水位体系域的自生矿物含量低于密集段、高于低水位体系域(表2)。

## 6 层序与油气储盖组合的关系

濠洲组为北部湾盆地北部凹陷主要的储集层之一,其中超层序1的层序2和层序3为主要产油层位,通过对主要试油层段的体系域、沉积体系属性统计及含油层段物性分析,绝大多数含油层段分布于低水位体系域的辫状河三角洲、斜坡扇、复合扇、盆地扇等沉积体系,少量为水进体系域的水道充填、浊积等沉积砂体。如在12-1-3井的7套油层中,五套分属于层序2和层序3低水位体系域复合扇和辫状河三角洲的水下分流水道、浊流—碎屑流沉积;二套隶属于水进体系域水道充填沉积砂体。

层序中的不同体系域均有发育储集层的潜在条

件,如果有良好的成藏组合,均可形成油气藏。低位期的辫状河三角洲、斜坡扇、复合扇、盆地扇等发育的沉积砂体,特别是河口砂坝、有堤水道和浊积砂体通常处于非常有利的油气储盖组合之中,它们是在盆地浅—深水区沉积下来的,砂体厚度大,孔隙度、渗透率及连续性一般较好。同时它们主要发育在坡折带及其以下地区,水进(湖侵)和密集段及高水位体系域中的泥质沉积物形成低位域砂体的盖层,砂体的上部和侧向上同样被水进体系域暗色泥岩所包围,通过不整合面、断面与主要生油岩沟通,因此往往能构成非常有利的地层圈闭或构造—地层复合圈闭。水进(湖侵)体系域水道充填、浊积等砂体经波浪作用的反复冲刷,分选和磨圆均较好,孔隙度和渗透率极佳,水进期的退积作用有助于砂泥呈互层状组合,顶部和侧向均有良好的生油层或油源来自深层的垂直运移,密集段为良好的盖层,一般可形成良好的地层圈闭油气藏。高水位体系域中的三角洲、扇三角洲等发育的沉积砂体也具有良好的储集性能,但向陆的侧向封闭性差,往往需要一定的构

表2 重矿物及自生矿物变化与体系域关系分析对比表

Table 2 The relationship between the system tract and heavy-mineral change in Weizhou Formation

井号	层序	体系域	深度/m	样品 点数	重矿物含量 /%	自生矿物/%			
						黄铁矿	重晶石	碳酸盐	海绿石
濠 5-5-1	S6	HST	1 450 ~ 1 540	5	0.95	29.2	1.25	0.41	
		CS	1 540 ~ 1 556	1	0.28	27.0	2.00	0.70	
		TST	1 556 ~ 1 590	2	0.51	22.9	1.35	0.20	
	S5	HST	1590 ~ 1 640	2	0.61	15.1	0.70	0.20	
		CS	1640 ~ 1650	1	0.47	42.0	0.85	0.20	0.2
		TST	1650 ~ 1695	2	0.87	51.0	0.20	0.15	
濠 11-4N-1	S4	HST	1280 ~ 1340	3	0.51	67.6	2.70	0.90	0.1
		CS	1340 ~ 1350	2	0.38	81.5	8.95	0.53	0.3
		TST	1350 ~ 1400	5	0.82	54.1	9.45	0.20	0.08
		LST	1400 ~ 1430	3	2.02	68.3	0.77	0.30	
	S3	HST	1430 ~ 1500	5	1.04	70.6	1.01	0.20	
		CS	1500 ~ 1510	2	0.32	85.4	1.82	0.30	0.2
		TST	1510 ~ 1560	4	0.79	74.8	1.15	0.30	0.2
		LST	1560 ~ 1590	3	1.71	52.8	1.06	0.20	
	S2	HST	1590 ~ 1650	5	1.03	70.6	1.80	0.30	0.2
		CS	1650 ~ 1660	1	0.23	74.1	2.30	0.65	0.4
		TST	1660 ~ 1680	3	0.34	61.5	1.86	0.61	0.2
		LST	1680 ~ 1770	9	1.98	58.3	0.89	0.42	
濠 5-5-1	S1	HST	2017 ~ 2110	4	0.76	47.6	0.31		
		CS	2114 ~ 2120	1	0.45	53.8	0.70	0.13	
		TST	2120 ~ 2117	3	0.68	41.1	0.46		

造配合,才可形成油气藏。

由于超层序1处于中长周期基准面旋回下降至上  
升的转换部位,低水位体系域发育,岩性以粗粒沉积占  
主导地位,发育的下切河道、三角洲、斜坡扇、复合扇、  
盆地扇等都是良好的油气储层。超层序1的上部为中  
期基准面上升半旋回,由一系列代表水体逐渐变深的  
短期旋回叠加而成,水进体系域发育,随可容纳空间不  
断增大,沉积物的供应逐渐减少,形成以细粒为主的沉  
积,水进、湖侵和密集段及高水位体系域中的泥质沉  
积物构成超层序1沉积砂体的盖层。超层序1的下伏  
岩层为前中长周期上升至下降半旋回的流沙港组半深  
湖—深湖相,厚600~1000m,含沥青质的暗色泥岩、  
油页岩生油层,这样就构成了极佳的生储盖组合。断  
层的配合形成断层—地层复合圈闭,在北部湾盆地涠

洲组形成了具有重要工业价值的油气藏。

### 参 考 文 献

- 1 吴崇筠,薛叔浩.中国含油气盆地沉积学[M].北京:石油工业出版社,1992.261~268
- 2 C. K. 威尔格斯等编.徐怀大,魏魁生,洪卫东等译.层序地层学原理[M].北京:石油工业出版社,1993.47~255
- 3 Weimer P, Posamentier H W. Siliciclastic Sequence Stratigraphy - Recent Developments and Applications[J]. AAPG Memoir, 1994, 58: 1~484
- 4 魏魁生.非海相层序地层学—以松辽盆地为例[M].北京:地质出版社,1996.27~104
- 5 邓宏文.美国层序地层研究中的新学派—高分辨率层序地层学[J].石油与天然气地质,1995,16(2):89~97
- 6 G. D. 克莱因著,李思田,李宝芳,林畅松译.砂岩沉积模式与能源矿产勘探[M].北京:地质出版社,1989.143~166

## Sequence Stratigraphic Framework and Its Characteristics of the Weizhou Formation in North Sag of Beibuwan Basin

DU Zhen-chuan<sup>1</sup> WEI Kui-sheng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Hebei Institute of Architectural Science and Technology, Handan Hebei 056038)

<sup>2</sup>(China University of Geosciences, Beijing 100083)

### Abstract

According to the comprehensive analysis of the data of well logging, core, seismic and change of heavy-mineral, under the guide of the thought and methodology of high-resolution sequence stratigraphy, and identification of sequence boundary generated by base-level cycle, the sequence stratigraphic framework in Weizhou Formation has been established and 3 super sequence, 9 sequence have been recognized. Sequence characteristics and sedimentary system formation have been investigated. Spatially, based on the study of depositional environment in the unit of chronological sequence, the system tracts and depositional system were traced. Temporally, the authors have studied the basin evolution with every sequence and faulting action on depositional filling.

The development of basin-fill super sequences in Weizhou Formation is controlled by middle term base-level cycle change. Because place difference of sequence stratigraphic unit in middle term base-level cycle, stratigraphic thickness, classification and distribution of sedimentary system make obvious difference. Lowstand system tract (LST) developed, there had mostly developed braided river delta, alluvial fan, slope fan, multiple fan, fan deltas and near shore subfan sediments in middle term base-level cycle fall-rise early stage. Water transgressive system tract (TST) formed, there mostly developed fine-grain lake faces sediments in middle term base-level cycle rise stage. Highstand system tract (HST) formed, there mostly developed shallow lacustrine, fluvial-delta and fan deltas sedimentary system in middle term base-level cycle late stage.

It could be concluded that, in Weizhou Formation, most oil-bearing formations are controlled by sequence 2 and sequence 3 of super sequence 1, and reservoirs are mostly sandbody in LST and TST. The seal and structure jointly made the composite traps. The important commercial accumulation of oil and gas were formed in North sag of Beibuwan basin.

**Key words** Beibuwan basin, accumulation, sequence, sedimentary system