

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2013.02063

北部湾盆地不整合面特征及构造演化

马云^{1,2}, 李三忠^{1,2}, 张丙坤^{1,2}, 龚淑云³, 刘鑫^{1,2},
余珊^{1,2}, 王霄飞^{1,2}, 赵淑娟^{1,2}

(1. 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100;
2. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 青岛 266100;
3. 深圳市地质局, 深圳 518023)

摘要:新生代北部湾盆地位于华南陆块西南缘, 自形成以来发育多期沉积间断和不整合面。研究了该盆地内不整合面的特征和分布规律, 按照影响的构造单元范围划分了3级不整合; 根据形成时期与盆地裂解阶段关系, 厘定了3种主要不整合类型: 裂谷期裂解不整合、断拗转换不整合、反转期角度不整合。基底不整合面是盆地初始张扭裂陷的记录, 为一级不整合, 属裂谷期裂解不整合性质, 区域上与太平洋板块的俯冲速率骤降有关。涠洲组底部不整合面为珠琼运动导致的裂谷期二级不整合性质, 区域上与印度板块的汇聚及太平洋板块俯冲变向有关。下洋组底部不整合面是盆地构造体制发生断拗转换的界面, 为二级不整合, 而区域上对应的事件为南海海盆的持续张开。灯楼角组底部不整合面是盆地发育晚期构造反转的产物, 为三级不整合, 属反转期角度不整合性质, 区域上与印—澳板块的作用有关, 而与晚期菲律宾海板块挤压关系不大。北部湾盆地不整合面的形成与华南陆缘裂解和多级多期张扭或压扭活动密切相关, 华南陆缘发生强烈的走滑活动与区域板块格局的巨大调整有关。

关键词:不整合面; 构造演化; 华南陆缘; 北部湾盆地

中图分类号:P736.1

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2013)02-0063-10

不整合面具有明确的构造意义^[1], 它记录了一个地区地质历史中的沉积间断, 反映出各种尺度沉积记录的缺失, 作为划分构造层序以及构造演化阶段最重要的事实依据, 是盆地原型重建至关重要的标志^[2]。北部湾盆地发育多期不整合面, 前人对此早有研究^[13-28], 但存在多种不同观点(表1)。依据盆地形成时期与裂解阶段关系, 沉积盆地内不整合面性质可分为裂谷期和后裂谷期不整合两大类型^[3]。依照对应的不同级别地质构造单元和影响范围, 不整合面可分为不同的级别^[4-12]: 一级不整合面为具有构造变革意义的构造旋回界面, 对应板块汇聚事件, 影响范围大; 二级不整合面为代表盆地内部构造体制转换的界面, 对应盆地内部阶段性构造事件; 三级不整合面形成于局部多旋回幕式构造运动之间, 由海平面或沉积物供应速率变化等引起, 对应古气候变化或局部构

造变动事件。根据以上划分依据, 本文基于前人成果, 综合大量地质、地球物理等资料, 对北部湾盆地涠西南、海中、乌石、迈陈、福山和雷东6个主要含油气凹陷(图1)的不整合面特征进行了详细分析, 明确了其发育层位和分布范围, 厘定了不整合面的性质和级次, 依据不整合面的时空特征, 分析了盆地的沉降—隆升过程, 对盆地构造演化史进行了恢复, 以期对整个南海北部陆缘盆地的沉积结构和演化历史提供“一盆之见”。

1 区域地质背景

北部湾盆地基底隶属华南陆块的海域部分, 中生代的构造运动奠定了北部湾盆地的基底构造格局^[29]。盆地边界受新生代以来NE向右行走滑断裂系和印支陆块与华南陆块间的中生代缝合带(即新生代的NW向左行走滑断裂系)两组断裂系的控制^[30]。右行走滑断裂系自西向东主要有合浦—北流、信宜—廉江、吴川—四会(文献[31]中的错误更正)和阳江—河源等深大断裂带^[32-33], 左行走滑断裂系主要指印支陆块挤出形成的哀牢山—红河、金沙江等断裂(图1)。在欧亚、印—澳和太平洋板块的

基金项目: 中央高校基本科研业务费中国海洋大学专项基金项目; 国家自然科学基金项目(41190072)

作者简介: 马云(1986—), 女, 博士生, 海洋地质专业, E-mail: honeysucle0539@126.com

通讯作者: 李三忠(1968—), 男, 博士, 教授, 博导, 从事构造地质学及海洋地质学的教学和研究工作。

收稿日期: 2013-01-29; 改回日期: 2013-03-22. 文凤英编辑

表1 北部湾盆地不整合面解释方案对比

Table 1 Comparison of explanations of unconformities in the Beibuwan Basin

地层系统		年龄 Ma	地层 地层	涠西南凹陷		海中凹陷		乌石凹陷		迈陈凹陷		雷东凹陷		福山凹陷		盆地整体										
系	统	组	段	刘学文	席敏红	孟令箭	2007	2009	卢林	孙建峰	朱维田	2010	孙伟	2008	王鹏	2011	栗修权	杨木壮	2011	张景茹	李美俊	2007	张启明	李春荣	2012	本文方案
第四系	第四系			T10																						
	新近系	上新统	望楼港组	2.48	T20	- - -																		局部		
				5.3	T30																			局部		
		中新统	灯楼角组	10.4	T40	- - -																		区域		
				16.3	T50	- - -																		区域		
	渐新统	涠洲组	一段	23.3	T60	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	区域			
				35.4	T70																			区域		
				38.6	T80	局部																		局部		
		流沙港组	二段	50.0	T83	局部																		局部		
				56.5	T86	局部																		局部		
	古近系	始新统	长流组	65.0	T90	- - -																		区域		
					T100	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	~~~~~	区域		
前新生界基底																							本文解释方案			
--- 平行不整合接触 ~~~~~ 角度不整合接触 ~~~~~~ 本文解释方案																										

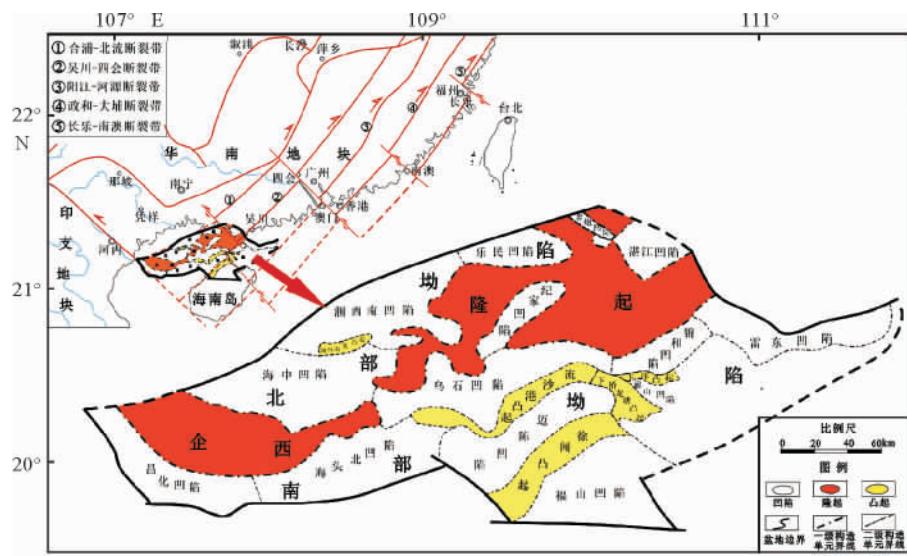


图1 北部湾盆地构造区划及周边构造简图(据文献[39]、[40]改)

Fig. 1 Tectonic division of the Beibuwan Basin and its surroundings(revised from reference [39], [40])

联合作用下^[34-36]，形成北部湾独具特色的长轴近E—W向、短轴近S—N向的菱形盆地。盆地断裂结构受早期基底构造制约，控盆或控凹断裂主要为

NE或NEE向走滑断裂^[37-38]，内部次级断裂为NEE向或EW向伸展断裂和NW向走滑断裂。盆地构造区划整体上由企西隆起分隔为北部坳陷带和南部

坳陷带,北部坳陷带包括海中、涠西南、乐民、界炮、湛江、螺岗岭6个凹陷和涠西南低凸起,南部坳陷带发育昌化、海头北、纪家、乌石、迈陈、福山、前山、锦和、雷东9个凹陷和流沙港、徐闻、下桥龙塘、下洋4个凸起(图1)。新生代以来盆内从老到新充填了古近系长流组、流沙港组和涠洲组和新近系下洋组、角尾组、灯楼角组、望楼港组及第四系地层。

2 不整合面发育特征

北部湾盆地经历了复杂的地质构造演化过程,表1显示了前人对盆地不整合面发育的不同认识,可见北部湾盆地主要构造事件不明确,构造演化过程不清晰。本文通过对盆地内的28条地震反射剖面、23条油藏剖面及多口钻井数据进行研究分析,并结合前人研究成果,确定北部湾盆地发育T100、T90、T83、T80、T60、T40、T20共7个重要不整合面,其成因、意义、不整合程度和样式等因地区和发

育时间的不同而有所差异(表2)。

2.1 基底不整合面(T100)

该期不整合面在整个北部湾盆地表现十分清晰,不整合面之下为古生界变质岩、中生界花岗岩或灰岩(图2),之上为古近系陆相砂、砾岩或新近系海相沉积岩,不整合面中有砾岩分布。地震剖面显示(图2),基底地层多发生褶皱弯曲变形或断块掀斜,与上覆地层在控盆断层一侧或斜坡处呈明显的高角度不整合接触关系,在低洼处多呈平行不整合接触,在盆内凸起或构造高位为披覆不整合接触关系。

很明显,基底不整合面是一个区域性角度不整合面,在其之上北部湾盆地开始逐步发育。它是北部湾盆地最重要的不整合面之一,代表了早期盆地初始张裂留下的地质记录,具有构造变革意义,在此界定为一级不整合,属裂解不整合性质,代表一次强烈的区域性构造运动,时间上相当于神狐运动。

表2 北部湾盆地不整合面划分依据及方案

Table 2 Comparison of different divisions of unconformities in the Beibuwan Basin

级别	界面	对应事件	代表意义	成因类型	分布	主要不整合样式
一级	T100	神狐运动	三大板块相互作用	裂解不整合	区域	削截不整合 岩溶不整合 超覆不整合
二级	T80	珠琼运动	阶段性构造运动	裂陷幕不整合	区域	褶皱不整合 断褶不整合
	T60	南海运动	构造体制断坳转换	破裂不整合	区域	削截不整合
三级	T90	珠琼一幕	局部构造变动	局部构造不整合	局部	
	T83	珠琼二幕	局部构造变动	局部构造不整合	局部	褶皱不整合 超覆不整合
	T40	东沙运动	局部构造变动	反转不整合	局部	平行不整合
	T20	新构造运动	局部构造变动	局部不整合	局部	

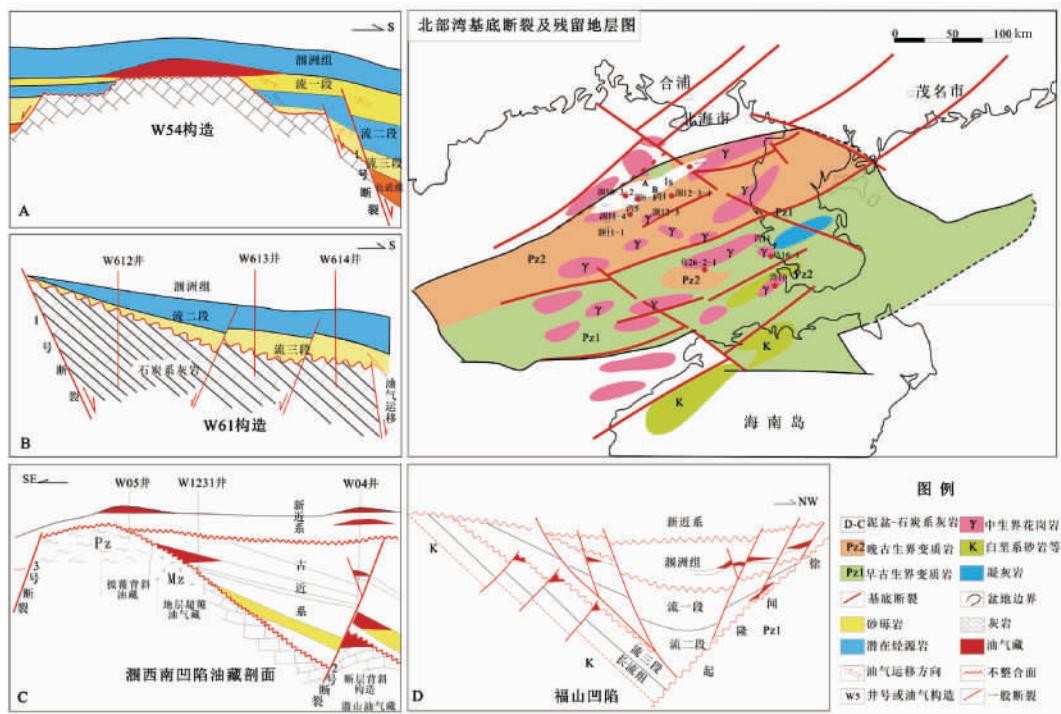


图2 北部湾盆地基底与上覆地层不整合接触关系

Fig. 2 Contact relationship of unconformity between the basement and the overlying strata

2.2 流沙港组底部不整合面(T90)

在涠西南凹陷, W611井、涠11-1、涠6-1油气藏及地震剖面均揭示出斜坡处流沙港组与基底的上超不整合接触关系, 而深洼处流沙港组与下伏长流组呈假整合接触关系。海中凹陷该界面上下地层接触关系与涠西南相似。在乌石凹陷东洼, 界面上部地层整合超覆在长流组之上; 西洼缺失长流组沉积, 界面之上地层超覆在基底上。在迈陈凹陷南部深洼为整合接触关系, 北部斜坡超覆沉积在基底上。在雷东凹陷, 由于下部地层相对抬升发生剥蚀, 形成不整合面, 与下部地层呈现顶超接触关系。在福山凹陷流沙港组沉积范围小, 只在深洼处沉积, 上超尖灭于南部斜坡带, 该界面总体为一区域平行不整合界面。

整体看来, 该界面在北部湾盆地总体为平行不整合或整合接触, 在凹陷斜坡处由于地形原因为上超不整合接触, 它代表了早期盆地继续张裂造成沉积空间增大, 造成沉积饥饿所留下的地质记录, 在此界定为三级不整合, 属裂谷期不整合性质, 代表一次阶段性构造活动, 时间上相当于珠琼运动一幕。

2.3 流一段底部不整合面(T83)

地震剖面显示, 乌石凹陷北部斜坡处流二段地

层遭受挤压变形, 顶部沉积被剥蚀, 形成局部不整合面。迈陈凹陷内斜坡及凸起处, 流二段遭受剥蚀, 但流一段后期剥蚀殆尽, 两不整合面合为一体。迈参2井以北地区流二段地层缺失。福山凹陷花场构造揭示出该界面上下断层倾向截然相反。不少地区流一段剥蚀殆尽, 该界面与涠洲组底部不整合面合为一体, 成为一个界面。由此可见, 该界面为一典型的局部剥蚀面, 为一次局部构造抬升形成的界面, 代表一次阶段性构造抬升。

2.4 涠洲组底部不整合面(T80)

在涠西南凹陷, 涠洲组与流沙港组之间地震剖面上表现为全凹陷分布的平行不整合, 未发现典型的角度不整合接触; 但北部涠浅1井揭示涠洲组与白垩系和石炭系灰岩基底直接接触^[20], 长流组和流沙港组完全缺失, 为典型的不整合接触关系; 东部涠12-3油气藏揭示缺失长流组沉积, 由流沙港组或涠洲组超覆在基底花岗岩之上^[23], 为角度不整合接触关系。海中凹陷涠洲组与下伏地层呈全区分布的假整合接触关系。乌石凹陷北部斜坡流一段遭受剥蚀, 尖灭在不整合面上, 而深洼内钻遇了流一段油流。迈陈凹陷多条测线揭示涠洲组底部明显超覆不整合于下伏地层之上, 与徐闻凸起接壤地带为地层上倾超覆带; 徐闻X1井、徐闻X2a及迈参2井(图

3)等钻探揭示在凹陷斜坡及凸起部位流一段地层剥蚀殆尽,流二段上部地层缺失。雷东凹陷内流沙港组地层整体抬升遭受剥蚀,形成不整合面。在福山凹陷,西北部博厚断层抬升,上升盘流一段遭受剥蚀;南部海南岛隆起,流一段、流二段均遭受剥蚀在定安断裂以北斜坡带尖灭,涠洲组超覆沉积之上,为不整合接触关系。

以上分析看出,涠洲组底部是北部湾盆地内重要的区域不整合面,剥蚀程度东南部大于西北部(图3)。它是盆地强烈断陷沉积后又抬升剥蚀留下的地质记录,代表一次强烈的区域性构造运动,时间上相当于珠琼运动结束界面,为二级不整合,属裂谷期裂陷幕不整合性质,受力方向主要来自东南。

2.5 下洋组底部不整合面(T60)

该界面是古近系与新近系沉积地层的分界,在北部湾盆地的不整合特征最为明显(图3)。钻探(如涠10-3构造、涠11-4油气藏等)揭示,涠西南凹陷1号断裂上升盘界面下伏涠洲组全部剥蚀,流一段顶部局部剥蚀,涠西南低凸起上古近系全部剥蚀,其余地区涠洲组有少量残余。海中凹陷涠洲组上部地层在全区遭受剥蚀,但剥蚀程度远小于涠西南凹陷,仅在南部斜坡带涠一段全部缺失。乌石凹陷涠洲组地层剥蚀也很严重,仅局部残留,北洼全部被剥蚀。在迈陈凹陷东部地区,涠洲组的剥蚀程度不及流沙港组顶剥蚀程度强,但涠洲组地层在凸起处剥蚀600 m以上,福山凹陷涠洲组剥蚀程度比迈陈凹陷还高。地震剖面(图4)揭示该界面为一区域性高

角度削截不整合界面,在盆内各个凹陷界面之下削截特征显著,且削截下部多期沉积地层,削截角度大,削截范围广,界面之上洋组发生超覆沉积,表现为典型的“上超下削”特征(图4)。除少数断裂向上延伸到界面之上,多数都终止于该界面之下。界面之下各凹陷沉积独立分隔,界面之上琼北和雷南、雷东、西部凹陷沉积连为一体。

综上,自该界面往上盆地呈现出明显的坳陷特征,为盆地构造体制发生断坳转换的界面,因此,将该界面界定为二级不整合,代表一次强烈的区域性构造运动的结束和构造体制的变化。从削截强度和角度来看,北西侧和南东侧强度大,盆地中央强度小,北部大于南部,盆地两边强度大于中央,推测该不整合面代表早期强烈的右行走滑拉分作用逐渐减弱,并可能是受欧亚、印澳、太平洋三大板块作用叠合产生的互相消减效应,导致走滑不显著,而转入热沉降的拗陷阶段。

2.6 灯楼角组底部不整合面(T40)

该界面在海中凹陷表现最为典型,界面之下地层局部受到挤压发生强烈褶皱弯曲,褶皱顶部遭受剥蚀,形成局部高角度削蚀不整合界面(图4)。从涠西南凹陷到乌石凹陷到迈陈凹陷再到雷东凹陷,界面之下地层弯曲程度有逐渐降低的趋势,但是在凹陷的斜坡部位界面之下均出现低角度削截特征。总体上该界面为一区域性弱角度不整合界面,但不整合程度有由北往南减弱、由西往东减弱的趋势,这说明其受力方向主要来自西部和西南,受东部应力场影响较小。它是盆地发育晚期构造反转的产物,

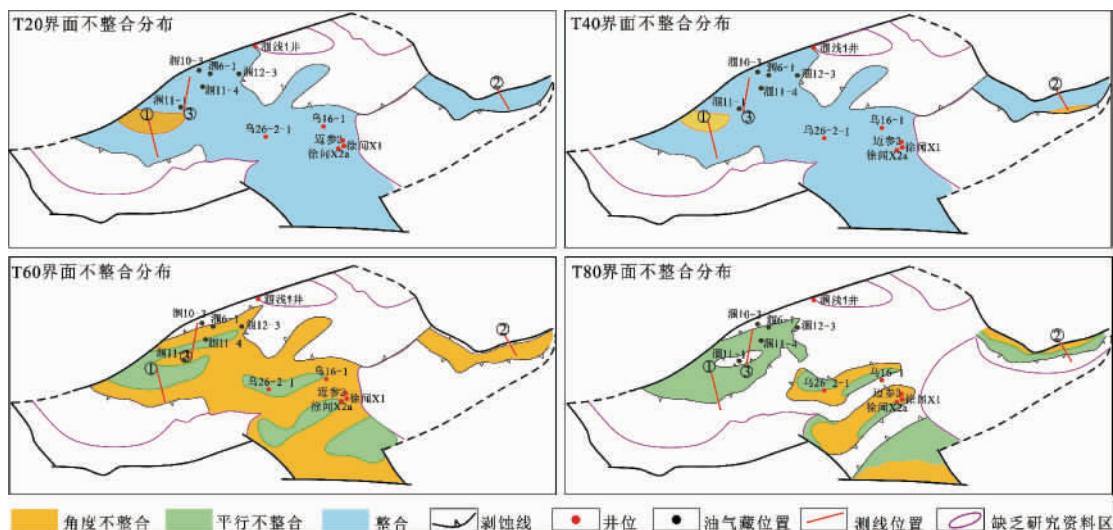


图3 北部湾盆地各不整合面分布情况

Fig. 3 Distribution of different unconformities

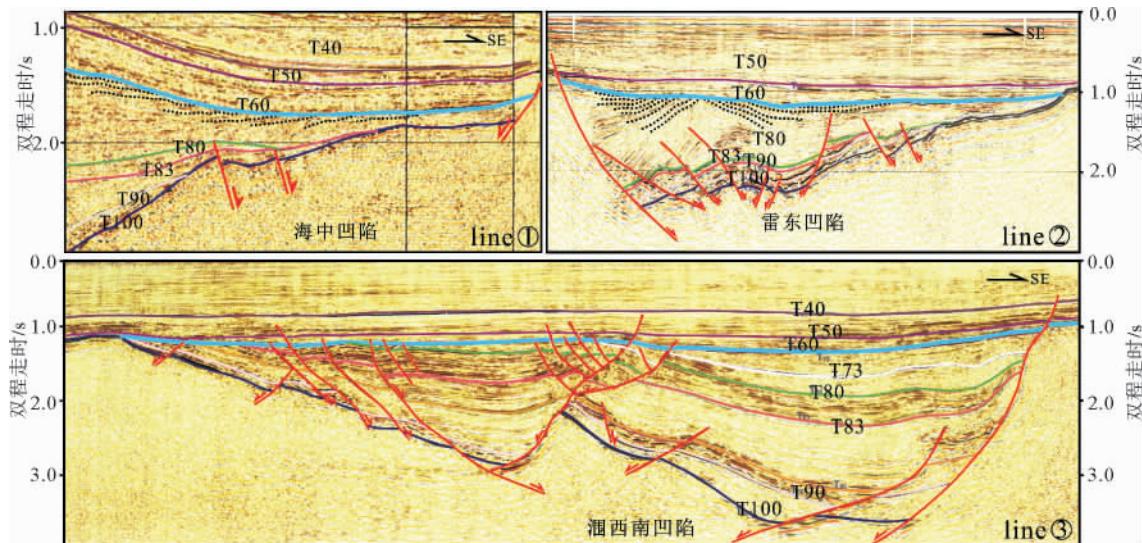


图 4 北部湾盆地 T60 不整合面地震反射剖面特征(剖面位置见图 3, 剖面引自文献[39])

Fig. 4 Characteristics of the Unconformity T60 in seismic profiles (sections' locations seen in Fig. 3 after reference [39])

将此界面定三级不整合,属构造反转期角度不整合性质,该界面可能是印度—澳大利亚板块对欧亚板块的区域性汇聚调整的局部响应(图 4),时间上相当于东沙运动,但与东沙运动的起因——菲律宾板块的挤压关系不大。

2.7 第四系底部不整合面(T20)

该界面之下主要为浅海相泥岩沉积,界面之上发育大范围的玄武岩沉积。地震剖面上,海中凹陷中央褶皱带顶部轻微剥蚀,往两侧与上覆地层发育低角度削截不整合接触关系。盆地其余凹陷不整合接触关系不明显(图 4)。就地震反射来看,西部靠近边界断层处的海中凹陷和涠西南凹陷地层反射略微杂乱且弯曲,而东部凹陷地层反射席状特征明显,可能说明该界面的形成主要受来自西部的作用力影响而使得盆地西侧边界断裂活动强烈。总体上,该界面为一局部角度不整合界面,界定为三级不整合,其形成主要与印度—欧亚板块的汇聚挤压活动有关。

3 周边板块构造重组与北部湾盆地内不整合面响应

北部湾盆地自古生代—中生代以来经历了加里东期、印支期和燕山期复杂的陆块分离、挤压、碰撞、拼合等构造演化过程,中生代燕山期形成了一系列 NE 向展布的逆冲推覆构造,燕山期后期发展为左行走滑断裂,形成了北部湾盆地的基底构造格局,特

别是白垩纪晚期的 NNE—NE 向走滑断层特别发育。白垩纪以来,在太平洋板块、欧亚板块和印度—澳大利亚板块的联合作用下,早期走滑断裂转变为右行走滑,在其走滑拉张作用下北部湾盆地最终定型。

通过对北部湾盆地不整合面特征及空间变化(图 3)的详细研究,并综合前人研究成果,本文认为北部湾盆地自发育以来应力场在压扭与张扭之间反复转换,构造演化经历了初始张扭裂陷、强烈拉分断陷、断—坳转换、压扭抬升和区域沉降 5 个阶段(图参考文献[41]):

(1) 初始张扭裂陷期:晚白垩纪末—古新世,早期太平洋板块海底扩张速度和火山作用急剧降低,向欧亚板块的运动速度由 3.6 cm/a 突降至 1.7 cm/a^[42],欧亚板块内部应力得到释放,地壳表现为强烈伸展。印度—澳大利亚板块向欧亚板块汇聚,速率高达 17 cm/a,虽与欧亚板块为远距离接触,但深部地幔在亚洲大陆下产生向东南方向的地幔流动^[43],同时太平洋板块俯冲方向由原先的 NNW 逐渐逆时针调整^[44-47],两者的相互作用叠加,使华南陆块东部中生代左行压扭深大断裂性质转换为微弱右行叠合强烈拉张作用^[45]。北部湾地区受到的张应力主要为 NW—SE 向,NE 向深大断裂开始控制盆地或凹陷边界,形成盆地雏形,各个凹陷以半地堑式集中分布在断裂下降盘,沉积范围不大,彼此不连通,充填长流组红色碎屑岩沉积,与早期基底呈角度不整合接触关系,形成一级裂解不整合。

(2) 强烈拉分断陷期:始新世,印度—澳大利亚

板块的汇聚作用增强^[44-47],NNE—NE向断裂右旋走滑拉张得以持续和增强,拉张应力主方向转为NNW—SSE,北部湾盆地强烈拉分断陷,沉积空间骤增,水体加深,在此时期沉积了北部湾盆地最主要的烃源岩层——流沙港组。中始新世晚期以来,太平洋板块俯冲方向由NNW转为NNW,印度—澳大利亚板块与欧亚板块开始硬碰撞,三大板块应力场调整^[40-44],对北部湾地区造成较强的右旋挤压作用,造成北部湾盆地地层普遍的构造反转现象,流沙港组一段严重剥蚀,流二段局部剥蚀,形成裂谷期二级不整合。

(3) 断坳转换期:渐新世,印度—澳大利亚板块与欧亚板块的汇聚使青藏高原逐步隆升,印支地块向SE方向顺时针旋转挤出^[48],北部湾盆地所处应力场继续顺时针旋转,主拉张方向逐渐变为近S—N向。北部湾地区得以持续右行拉分张裂,沉积了范围更大的涠洲组地层。后期由于南海海盆扩张影响,盆地整体抬升遭受剥蚀,形成全区的角度不整合接触关系,盆地构造体制由断陷期转为拗陷期,之后接受海相披覆沉积,形成分隔裂谷期与后裂谷期的二级断坳不整合。

(4) 压扭抬升期

中新世以来,北部湾地区受到来自东部的应力逐渐减弱,而西部的作用力显然占了主导地位。由于地幔热源在前期张扭环境中被释放,底部地幔冷却收缩^[49],总体上构造活动减弱,盆地拗陷沉降,走滑拉分作用较前期变弱^[50],先前NE向的箕状断陷陡侧边扭动边沉积,缓侧相对抬升,涠洲组和中新统的沉积中心随之向正断层一侧迁移,同时形成NEE或近东西向断裂。盆地由断陷期转为拗陷期,海水入侵,形成海陆过渡相—海相沉积。上新世时期,受西部应力影响,压扭作用在涠西南和海中凹陷明显,形成地层隆起并发生轻微褶皱反转,形成反转期三级角度不整合。

(5) 区域沉降期:第四纪,南海海盆扩张结束,南海地区发生整体沉降,北部湾盆地也随之整体下沉,盆地进入整体沉降阶段,接受海相沉积。

4 结论

(1) 基底区域性角度不整合面为早期盆地初始张扭裂陷的记录,为一级不整合,属裂谷期裂解不整合性质。

(2) 涠洲组底部不整合面是盆地强烈断陷后经过早期反转留下的地质记录,为裂谷期二级不整合,

与太平洋板块俯冲方向转变有关。

(3) 下洋组底部区域性角度不整合面是盆地构造体制发生断拗转换的界面,为二级不整合,与南海海盆的张开有关。

(4) 灯楼角组底部不整合面是晚期盆地发育构造反转的产物,属反转期三级不整合,主要受西部应力场影响,与晚期菲律宾板块挤压关系不大。

(5) 北部湾盆地不整合面的形成与华南陆缘裂解和多级多期张扭或压扭活动密切相关,华南陆缘发生强烈的走滑活动与区域板块格局的巨大调整有关。

参考文献(References)

- [1] 李本亮,管树巍,陈竹新,等.断层相关褶皱理论与应用——以准噶尔盆地南缘地质构造为例[M].北京:石油工业出版社,2010.[LI Benliang, GUAN Shuwei, CHEN Zhuxin, et al. Theory and Applications of Fault-Related Folds-Take Geological Structure of the Southern margin of the Junggar Basin for Example [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.]
- [2] 戴俊生.构造地质学与大地构造[M].北京:石油工业出版社,2006:10-139.[DAI Junsheng. Structural Geology and Tectonics[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 10-139.]
- [3] 王成善,李祥辉.沉积盆地分析原理与方法[M].北京:高等教育出版社,2003.[WANG Chengshan, LI Xianghui. Principles and Methods of Analysis of the Sedimentary Basins[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003.]
- [4] 李思田.沉积盆地分析基础与应用[M].北京:高等教育出版社,2004.[LI Sitian. Fundament Analysis and Application of Sedimentary Basins[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.]
- [5] 李思田.论沉积盆地分析系统[J].地球科学—中国地质大学学报,1992,17(增刊):31-39.[LI Sitian. On fundamental system of basin analysis[J]. Earth Science-Journal of China University of Geoscience, 1992, 17(sup): 31-39.]
- [6] Potter P E, Pettijohn F J. Paleocurrents and Basin Analysis [M]. Germany: Springer-Verlag, 1963.
- [7] Allen P A, Allen J R. Basin Analysis Principles and Applications[M]. England: Blackwell Publications, 1990.
- [8] Miall A D. Principles of Sedimentary Basin Analysis [M]. Germany: Springer-Verlag, 1985:1-90.
- [9] Beaumont C, Tankard A J. Sedimentary Basins and Basin-Forming Mechanisms[M]. Canada: CSPG Memoir, 1987.
- [10] Lerche I. Basin Analysis Quantitative Methods, Volume 1 [M]. America: Academic Press Inc, 1990.
- [11] 孙伟,樊太亮,赵志刚,等.乌石凹陷古近系层序地层及沉积体系[J].天然气工业,2008(4):26-28.[SUN Wei, FAN Tailiang, ZHAO Zhigang, et al. Paleogene sequence stratigraphy and sedimentary system in Wushi Sag [J]. Natural Gas Industry, 2008(4):26-28.]

- [12] 孙伟,樊太亮,赵志刚,等. 乌石凹陷古近系层序地层特征及充填演化[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38(2): 233-239. [SUN Wei, FAN Taliang, ZHAO Zhigang, et al. Basin filling features and evolution of sequence stratigraphy of Paleogene in Wushi Sag[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2008, 38(2): 233-239.]
- [13] 金庆焕. 南海地质与油气资源[M]. 北京: 地质出版社, 1989. [JIN Qinghuan. Geology and Petroleum Resources of the South China Sea[M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1989.]
- [14] 国土资源部广州海洋地质调查局编. 南海地质研究[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 1-30. [Ministry of Land and Resource, Guangzhou Marine Geological Survey complied. Geological research in the South China Sea[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008:1-30.]
- [15] 张启明,苏厚熙. 北部湾盆地石油地质[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1989, 9(3): 73-82. [ZHANG Qiming, SU Houxi. Petroleum geology of the Beibu Gulf Basin[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1989, 9(8):73-82.]
- [16] 李春荣,张功成,梁建设,等. 北部湾盆地断裂构造特征及其对油气的控制作用[J]. 石油学报, 2012, 33(2):195-203. [LI Chunrong, ZHANG Gongcheng, LIANG Jianshe, et al. Characteristics of fault structure and its control on hydrocarbons in the Beibuwan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2):195-203.]
- [17] 李美俊,王铁冠,刘菊,等. 由流体包裹体均一温度和埋藏史确定油气成藏时间的几个问题——以北部湾盆地福山凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 151-158. [LI Meijun, WANG Tieguan, LIU Ju, et al. A discussion on hydrocarbon accumulation dating determined by homogenization temperature and burial history of fluid inclusions—an example from the Fushan depression, Beibuwan Basin[J]. Oil&Gas Geology, 2007,28(2):151-158.]
- [18] 张景茹,何家雄,龚晓峰,等. 南海北部湾盆地福山凹陷含油气系统与油气运聚成藏规律[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28 (1): 30-37. [ZHANG Jingru, HE Jiaxiong, GONG Xiaofeng, et al. Petroleum system, oil and gas migration and accumulation in Fushan depression, Beibuwan Basin of South China Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2012, 28(1): 30-37.]
- [19] 杨木壮. 南海雷东凹陷区油气地质条件及勘探前景[J]. 石油实验地质, 1999,21(4): 297-301. [YAGN Muzhuang. Petroleum geology and exploration prospect of Leidong Depression in South China Sea [J]. Experimental Petroleum Geology, 1999,21(4):297-301.]
- [20] 梁修权,温宁. 雷东凹陷地震相特征及沉积发育史[J]. 南海地质研究, 1994: 97-111. [LIANG Xiuquan, WEN Ning. Seismic facies characteristics and sedimentary development history of Leidong depression [J]. Geological research of South China, 1994;97-111.]
- [21] 梁修权,张莉. 雷东坳陷的构造特征与构造演化[J]. 南海地质研究, 1995; 80-91. [LIANG Xiuquan, ZHANG Li. Structural characteristics and evolution history of Leidong depression[J]. Geological Research of South China, 1995; 80-91.]
- [22] 卢林,汪企浩,黄建军. 北部湾盆地涠西南和海中凹陷新生代局部构造演化史[J]. 海洋石油, 2007,27(1): 25-30. [LU Lin, WANG Qihao, HUANG Jianjun. Structural evolvement history of Weixinan and Haizhong depression in Beibuwan basin during Cenozoic Era[J]. Offshore Oil, 2007,27(1):25-30.]
- [23] 朱继田,郭明刚,刘志辉. 北部湾盆地乌石凹陷勘探前景分析[J]. 西部探矿工程, 2010 (12): 99-101. [ZHU Jitian, GUO Minggang, LIU Zhihui. Exploration prospects analysis of Wushi depression in Beibuwan Basin[J]. West-China Exploration Engineering, 2010(12):99-101.]
- [24] 石胜群. 迈陈凹陷东部地区油气成藏及钻探目标研究[D]. 东营:中国石油大学(华东), 2008:1-79. [SHI Shengqun. Evaluation on pool-forming and drilling targets in the Eastern of Maichen sag[C]. Dongying: China University of Petroleum(East China), 2008:1-79.]
- [25] 梦令箭,童亨茂,蔡东升,等. 北部湾盆地涠西南凹陷断裂系统成因的砂箱实验研究及启示[J]. 高校地质学报, 2009, 15 (2): 246-255. [MENG Lingjian, TONG Hengmao, CAI Dongsheng, et al. Sandbox modeling on genetic mechanism of fault system in Weixinan depression of the Beibu-Gulf Basin and its inspiration [J]. Geological Journal of China Universities, 2009,15(2):246-255.]
- [26] 刘学文. 北部湾盆地涠西南凹陷石油地质条件及油气运移分布规律探讨[J]. 广西地质, 1989, 2(3): 1-10. [LIU Xuwen. Discussion on the petroleum geology and regularities of oil and gas migration of southern Weixinan depression, Beibu Gulf Basin[J]. Geology of Guangxi, 1989,2(3):1-10.]
- [27] 席敏红,余学兵,黄建军. 涠西南凹陷(西部)古近系层序地层及沉积特征研究[J]. 海洋石油, 2007,27(3):1-21. [XI Min-hong, YU Xuebing, HUANG Jianjun. Paleogene stratigraphic sequence and sedimentary feature in the west of Weixinan Depression[J]. Offshore Oil, 2007,27(3):1-21.]
- [28] 王鹏,赵志刚,柳永杰,等. 迈陈凹陷构造特征与油气勘探方向分析[J]. 海洋石油, 2011, 31 (2): 13-19. [WANG Peng, ZHAO Zhigang, LIU Yongjie, et al. Structural characteristics and petroleum exploration direction analysis in Maichen sag[J]. Offshore Oil, 2011,31(2):13-19.]
- [29] 朱继田,郭明刚,于俊峰,等. 乌石凹陷古近纪结构形成机制与成藏关系[J]. 内蒙古石油化工, 2010, 22: 152-155. [ZHU Jitian, GUO Minggang, YU Junfeng, et al. Formation mechanism of Paleogene and accumulation of Wushi sag [J]. Inner Mongolia Petrochemical, 2010,22:152-155.]
- [30] 颜丹平,周美夫,王焰,等. 都龙-Song Chay 变质穹隆体变形与构造年代—南海盆地北缘早期扩张作用始于华南地块张裂的证据[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2005,30(4):402-412. [YAN Danping, ZHOU Meifu, WANG Yan, et al. Structural styles and chronological evidences from Dulong-Song Chay tectonic dome: earlier spreading of South China Sea Basin due to late Mesozoic to early Cenozoic extension of South China block[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2005,30(4):402-412.]

- [31] 程世秀,李三忠,索艳慧,等.南海北部新生代盆地群构造特征及其成因[J].海洋地质与第四纪地质,2012,36(6):79-93. [CHENG Shixiu, LI Sanzhong, SUO Yanhui, et al. Cenozoic tectonics and dynamics of basin groups of the northern South China Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2012, 36(6): 79-93.]]
- [32] 李家彪.中国边缘海形成演化与资源效应[M].北京:海洋出版社,2005. [LI Jiabiao. Evolution of China's Marginal Seas and Its Effect of Natural Resources [M]. Beijing: Ocean Press, 2005.]
- [33] 邓启东,冉永康,杨晓平,等.中国活动构造图[M].北京:地震出版社,2007:1-20. [DENG Qidong, RAN Yongkang, YANG Xiaoping, et al. Active Tectonic Atlas of China[M]. Beijing: Earthquake Press, 2007:1-20.]
- [34] 茹克.南海北部边缘叠合式盆地的发育及其大地构造意义[J].石油与天然气地质,1988,9(1):22-30. [RU Ke. The development of superimposed basin on the northern margin of the South China Sea and its tectonic significance[J]. Oil & Gas Geology, 1988, 9(1): 22-30.]
- [35] 龚再升,李思田.南海北部大陆边缘盆地分布与油气聚集[M].北京:科学出版社,1997. [GONG Zaisheng, LI Sitian. The Basin Analysis, Hydrocarbon Accumulation in North Marginal Basins of South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 1997.]
- [36] 龚再升,李思田,谢泰俊,等.南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M].北京:科学出版,1997:63-126. [GONG Zaisheng, LI Sitian, XIE Taijun, et al. Basin Analysis and Hydrocarbon Accumulation of Marginal Basin in the Northern Part of the South China Sea [M]. Beijing: The Science Press, 1997: 63-126.]
- [37] 李三忠,索艳慧,刘鑫,等.南海的基本构造特征与成因模型:问题与进展及论争[J].海洋地质与第四纪地质,2012,36(6):35-53. [LI Sanzhong, SUO Yanhui, LIU Xin, et al. Basic structural pattern and tectonic models of the South China Sea: problems, advances and controversies[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2012, 36(6):35-53.]
- [38] 李三忠,索艳慧,刘鑫,等.南海的盆地群与盆地动力学[J].海洋地质与第四纪地质,2012,36(6):55-78. [LI Sanzhong, SUO Yanhui, LIU Xin, et al. Basic dynamics and basin group of the South China Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2012, 36(6): 55-78.]
- [39] 朱伟林,米立军.中国海域含油气盆地图集[M].北京:石油工业出版社,2010. [ZHU Weilin, MI Lijun. Oil and Gas Basin Atlas of China Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.]
- [40] 马力,陈焕疆,甘克文,等.中国南方大地构造和海相油气地质[M].北京:地质出版社,2004. [MA Li, CHEN Huan-jiang, GAN Kewen, et al. Tectonics and Marine Petroleum Geology in South China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004.]
- [41] 马云,李三忠,刘鑫,等.华南北部湾盆地的形成机制[J].吉林大学学报:地球科学版,2012,增刊. [MA Yun, LI Sanzhong, LIU Xin, et al. Formation mechanism of the Beibuwan Basin, South China[J]. Journal of Jilin University Earth Science Edition, 2012, supp.]
- [42] Northrup C J, Royden L H, Burchfiel B C. Motion of the Pacific plate relation to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia[J]. Geology, 1995, 23:719-722.
- [43] 姚伯初,万玲,吴能友.大南海地区新生代板块构造活动[J].中国地质,2004,31(2):113-122. [YAO Bochu, WAN Ling, WU Nengyou. Cenozoic plate tectonic activities in the Great South China Sea[J]. Geology in China, 2004, 31(2):113-122.]
- [44] Lee T Y, Lawver L A. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia [J]. Tectonophysics, 1994, 235:149-180.
- [45] Lee T Y, Lawver L A. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia [J]. Tectonophysics, 1995, 251:85-138.
- [46] Hall R. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations [J]. J. Asian Earth Sci., 2002, 20: 353-432.
- [47] 谢建华.南海新生代构造演化及其成因数值模拟[D].广州:中国科学院广州地球化学研究所,2006:1-73. [XIE Jianhua. Cenozoic tectonic evolution of the South China Sea and a numerical simulation study on its formation[D]. Guangzhou: Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences, 2006:1-73.]
- [48] Tapponier P. Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine [J]. Geology, 1982, 10(12): 611-616.
- [49] 吕宝凤,殷征欣,蔡周荣,等.南海北部新生代构造演化序列及其油气成藏意义[J].地质学报,2012,86(8):1249-1261. [LV Baofeng, YIN Zhengxin, CAI Zhourong, et al. Cenozoic tectonic evolution sequence in northern South China Sea and its oil/gas significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(8):1249-1261.]
- [50] 许浚远,张凌云.欧亚板块东缘新生代盆地成因:右行剪切拉分作用[J].石油与天然气地质,1999,20(3):187-191. [XU Junyuan, ZHANG Lingyun. Genesis of Cenozoic basins in the eastern margin of Eurasia plate: dextral pulling-apart [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(3):187-191.]

UNCONFORMITIES IN THE BEIBUWAN BASIN AND THEIR IMPLICATIONS FOR TECTONIC EVOLUTION

MA Yun^{1,2}, LI Sanzhong^{1,2}, ZHANG Bingkun^{1,2}, GONG Shuyun³,
LIU Xin^{1,2}, YU Shan^{1,2}, WANG Xiaofei^{1,2}, ZHAO Shujuan^{1,2}

(1. Key Lab of Submarine Geosciences and Exploration Techniques, Ministry of Education, Qingdao 266100, China;

2. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

3. Geological Bureau of Shenzhen, Shenzhen 518023, China)

Abstract: The Cenozoic Beibuwan Basin is located in the southwest margin of the South China Block. Many depositional breaks and unconformities have been found in the Cenozoic sequence. The characteristics and distribution pattern of these conformities are described in details in this paper. According to their scale and behaviors, these unconformities can be divided into three orders. And based on ages and their relationship with the rifting stages of the basin, there are three main types of unconformities, i. e. rifting phase unconformity, rifting-depression phase unconformity and inversion phase angular unconformity. The basal unconformity of the basin recorded the initial rifting event of the basin. Being the first-order unconformity, it formed in the rifting phase, and was in conjunction with the sudden decrease in the subduction rate of the Pacific Plate. The unconformity beneath the Weizhou Formation was interpreted in this paper as a rifting phase third-order unconformity formed by the Zhuqiong Movement. It is regionally associated with the collision of the Indian Plate to the Eurasian Plate and the turn of the subduction direction of the Pacific Plate. The unconformity at the bottom of the Xiayang Formation is the transitional interface of the basin structural systems. As a second-order unconformity, it corresponds to the continuous opening of the South China Sea Basin. The unconformity at the bottom of the Dengloujiao Formation is considered as the result of the tectonic inversion of the basin in the later stage. It is a third-order angular unconformity formed in the inversion phase. From a regional point of view, it is related to the Indian-Australian Plate, rather than the subduction of the Philippine Sea Basin. It is concluded that the formation of unconformities is closely related to the rifting of the South China continental margin and the multiple-order and multiple-phase transtension or transpression. It is believed that the intensively strike-slip faulting along the South China continental margin is the result from the reorganization of the regional plate tectonic pattern.

Key words: unconformities; tectonic evolution; South China continental margin; the Beibuwan Basin