

琼东南—珠江口盆地深水区构造样式 及其分布特征

能源^{1,2} 吴景富³ 漆家福¹ 张功成³ 何玉平³ 苏克露¹ 廖晶¹

1.中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室 2.中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院

3.中海石油研究总院勘探院

能源等.琼东南—珠江口盆地深水区构造样式及其分布特征.天然气工业,2011,31(8):32-37.

摘要 南海区域构造运动复杂,对其北部深水区的构造样式及分类标准尚缺乏全面、系统的研究。为此,以该区琼东南—珠江口盆地为重点研究对象,基于区域地震反射资料,结合盆地的结构特征,分析、总结了深水区构造样式和分布特征。结果表明:①根据构造样式形成的动力学机制,可以将琼东南—珠江口盆地深水区划分为伸展构造样式、走滑构造样式与重力构造样式3类;②伸展构造样式可继续划分为地堑式、平面式半地堑、铲式半地堑及坡坪式半地堑;走滑构造样式主要表现为剖面上的花状构造、平面上的雁列断层及马尾状断层等;重力构造样式表现形式多样,既有以侧向滑动为主要特征的滚动背斜、重力滑动断层,也有以垂向运动为主的垮塌构造、底辟构造;③上述3类构造样式分布于盆地的3个构造层中,与盆地演化过程中所表现出的动力学机制密切相关。伸展构造主要分布于盆地的下构造层(裂陷期盆地);走滑构造分布于中下构造层(裂陷期盆地—裂陷后拗陷期盆地);重力构造样式分布广泛,在盆地深层—浅层均有分布,但表现形式不同。这些成果与认识对该区后续勘探开发具有十分重要的意义。

关键词 琼东南—珠江口盆地 深水区 构造样式 伸展构造 走滑构造 重力构造 分布规律 南海

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.08.008

南海位于3大板块的交界处,区域构造运动复杂^[1]。新生代,南海及其北部盆地经历了多期构造运动,表现为多旋回震荡式的运动特点^[2]。前人针对南海北部盆地构造样式进行了研究,识别出伸展构造、转换带构造、古潜山披覆构造、底辟构造、重力背形构造、反转构造、花状构造、沉积压实构造等多种构造样式^[3-6]。但是总体上对于南海北部盆地,尤其是深水区的构造样式及分类标准尚缺乏全面、系统的研究。为此,笔者以南海北部琼东南—珠江口盆地为例,基于深水地震反射资料,结合盆地的结构特征对构造样式的划分及分布特征进行探讨。

1 区域地质概况

南海北部大陆边缘发育了北部湾、莺歌海、琼东南、珠江口、中建南、双峰、笔架、台西南及台西等9个盆地^[7]。其中北部湾盆地与莺歌海盆地全部位于浅水

区,中建南盆地、台西南盆地及笔架盆地等全部位于深水区,琼东南盆地及珠江口盆地部分位于深水区^[8]。笔者研究的范围为琼东南盆地和珠江口盆地深水区的开平—顺德凹陷、白云—荔湾凹陷。

据钻井及地震资料揭示,南海北部陆缘盆地新生代沉积地层自下而上可划分为:前古近系基底,古近系古新统、始新统及渐新统,新近系中新统、上新统,第四系。盆地构造演化阶段经历了古近纪裂陷阶段(具体可划分为3个裂陷幕),新近纪—早、中中新世裂陷后拗陷阶段及晚中新世—第四纪裂陷后洋盆沉降期3个阶段(表1)。

与陆内裂谷盆地演化不同,南海北部盆地在裂陷后洋盆沉降期大陆坡发育成熟,盆地内地层明显向洋盆倾斜,其沉积地层、构造样式等均发生较大变化。

2 深水区构造样式

笔者根据南海北部盆地构造演化过程中表现出的

基金项目:国家科技重大专项课题(编号:2008ZX05025-02-01)、中国石油大学教育基金会“王涛英才奖学金”。

作者简介:能源,1982年生,博士;2010年毕业于中国石油大学(北京),研究方向为油区构造解析、含油气盆地分析。地址:(841000)新疆维吾尔自治区库尔勒市塔里木油田博士后科研工作站。电话:(0996)2176503。E-mail:nengyuan@foxmail.com

表 1 珠江口盆地与琼东南盆地地层划分表(据本文参考文献[9-10],有修改)

系	统	珠江口盆地		琼东南盆地		构造演化阶段			琼东南盆地绝对年龄/距今 Ma	珠江口盆地绝对年龄/距今 Ma
		组	地震界面	组	地震界面	裂后洋盆沉降期	裂后期	大陆边缘		
Q				乐东组						
N	N ₂	万山组		莺歌海组	T ₂ ⁰	裂后洋盆沉降期	裂后期	大陆边缘	2.6	2.6
					T ₃ ⁰				5.3	5.3
	N ₁	粤海组	T ₂ ⁰	黄流组	T ₄ ⁰	裂后拗陷期			10.5	10.5
		韩江组	T ₄ ⁰	梅山组	T ₅ ⁰				16	16
E	E ₃	珠海组	T ₆ ⁰	陵水组	T ₆ ⁰	裂陷三幕	同裂谷期	陆间裂谷	23.3	23.3
		恩平组	T ₇ ⁰	崖城组	T ₇ ⁰				裂陷二幕	28
	E ₂	文昌组	T ₈ ⁰		T ₈ ⁰	裂陷一幕		32	40	
					T ₉ ⁰			45	50	
	E ₁	神狐组	T ₉ ⁰		T ₉ ⁰			65	65	
				T _g		T ₁₀ ⁰		前裂谷期		

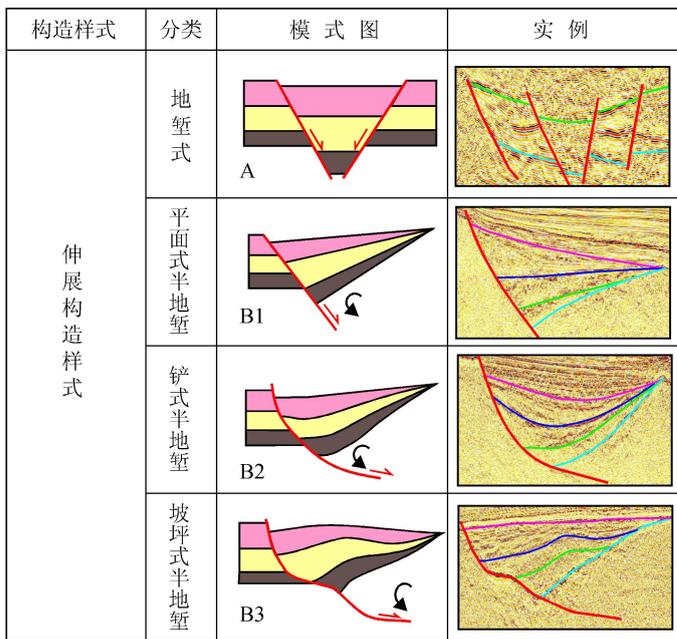
不同动力学背景,将构造样式划分为伸展构造样式、走滑构造样式及重力构造样式 3 种类型。

2.1 伸展构造样式

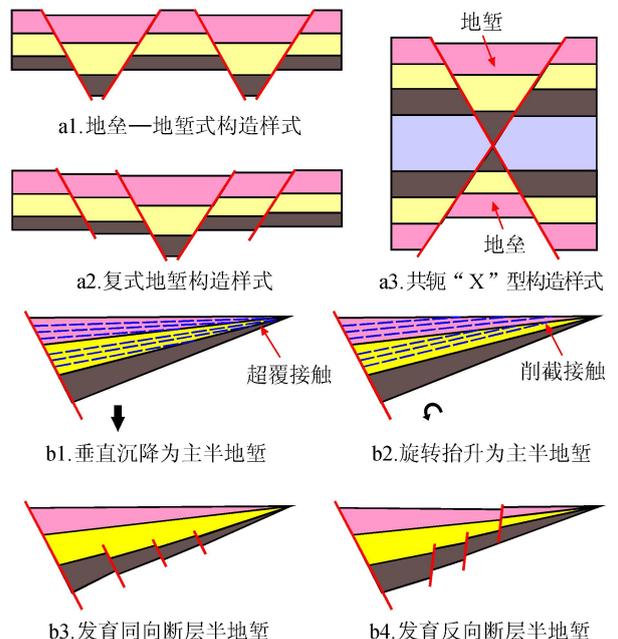
断裂是南海北部盆地内古近系基本的构造变形特征,在区域伸展作用的控制下,盆地内部表现出复杂的断块特征。根据断层及地层的组合关系,伸展构造样式可以分为地堑式(图 1-A)及半地堑式两种类型(图 1-B1、B2、B3)。

地堑式构造样式主要由两条相向倾斜断层及其之间所夹持地层组成。多个地堑在空间上可以组成地垒—地堑式构造样式(图 1-a1),一个地堑也可继续破碎形成复式地堑构造样式(图 1-a2)。还有一类特殊的垒堑式构造组合为共轭“X”型构造样式(图 1-a3),这种构造样式可以看做上部地堑与下部地垒在垂向上的组合,大多表现为局部构造,往往出现于盆地的内部。

根据边界主干断层的形态,可以将半地堑构造样



(a) 简单伸展构造样式



(b) 复杂伸展构造样式

图 1 珠江口盆地与琼东南盆地伸展构造样式模式图

式划分为平面式、铲式及坡坪式 3 种类型。不同形态半地堑反映出半地堑间的演化程度存在差别^[11]。根据半地堑内部沉积地层的层序特征可以判断半地堑演化过程是以垂直沉降为主(图 1-b1),还是以旋转抬升为主(图 1-b2)。在断层上盘发育的一系列次级断层可以破坏半地堑的原有形态,形成同向断层系(图 1-b3)或反向断层系控制的半地堑(图 1-b4)。

琼东南盆地、珠江口盆地古近系内分布着广泛的伸展构造,琼东南盆地内的崖北凹陷、崖南凹陷、松东凹陷、松西凹陷及北礁凹陷,珠江口盆地内的开平—顺德凹陷均为半地堑凹陷,在边界断层控制下盆地发生翘倾减薄,在地震剖面上可见明显的削蚀界面。而琼东南盆地的中央坳陷带内的乐东—陵水凹陷及宝岛—长昌凹陷则表现为明显的地堑结构,盆地内表现为地垒—地堑式及复式地堑构造样式。白云—荔湾凹陷内部伸展构造样式主要表现为由一系列断层控制的铲式及坡坪式的复式半地堑,局部发育“X”型构造样式。

2.2 走滑构造样式

受区域应力场及深大断裂的影响,琼东南盆地与珠江口盆地深水区均发育走滑构造样式。剖面上主要为花状构造、压扭背斜等特征,平面上则表现为雁列断层、褶皱及马尾状断层等(图 2)。根据走滑断层切割地层特征及走滑作用的时间,深水区盆地走滑断层可以分为两类 3 种类型。

第一类(I)型走滑断层为早期走滑断层(图 2-a),在盆地形成初期即发生走滑作用,花状构造中浅层的分支断层切割至基底,走滑断层两侧地层厚度差别较小,后期沉积地层中花状构造表现为继续向上生长的特性。第二类(II型)走滑断层为后期走滑断层,主要发生于盆地成盆之后,盆地内早期沉积地层具有明显的受伸展断层控制的生长地层特性,而花状构造中的分支断层多集中于盆地的浅层,大多数没有切割至基底。后期走滑断层发育两种类型:①新生型走滑断层,该类断层发生于主断层的上盘块体内,断层的形成并没有利用早期形成的正断层,盆地内早期沉积地层仍表现为半地堑的构造样式(图 2-b);②继承性走滑断层,即走滑断层沿用了早期伸展正断层,在主断层的浅层发育一系列分支断层^[12](图 2-c)。

琼东南盆地内 NE 走向的主干断层多具有走滑分量,从地震剖面上可以观察到明显的花状构造样式(图 3),根据花状构造发育的部位、分支断层切割层位可以判断琼东南盆地内走滑构造样式主要以 II 型走滑为主,即盆地内走滑作用发生在盆地成盆期之后。盆地表现为始新世—渐新世早期以伸展作用为主,渐新世中期—中新世盆地在伸展作用的基础上叠加了走滑作用。珠江口盆地白云—荔湾凹陷走滑构造样式主要集中在凹陷西部云开低凸起及北部番禺低隆起之上(图 3),且大多为 I 型走滑,说明在凹陷的成盆初期即具有明显的走滑作用,走滑作用开始于始新世。

2.3 重力构造样式

伸展与走滑构造样式代表着盆地受到水平作用力时所表现出的构造特征。从盆地尺度来看,这两种构造样式是盆地内主导构造样式,反应了区域构造运动特征。除了受区域构造运动影响外,深水区盆地受重力作用影响也很明显,发育一系列相关的构造样式。根据重力作用方式可以将其划分为垂直型重力样式与滑动型重力样式两类(图 4)。

2.3.1 垂直型重力构造样式

该构造样式主要受垂向重力作用影响,构造变形主要集中在与沉积地层垂直的方向,即包括垂直向下作用力引起的构造变形如垮塌构造、压实披覆构造,还包括由于沉积地层密度差异或垂直向上作用力引起的底辟构造,深水盆地内底辟构造主要表现为“泥岩”底辟及火山底辟两种(受资料限制,尚不能确定底辟体的性质,根据莺歌海盆地普遍发育泥岩底辟体,推测琼东南盆地深水区可能存在泥岩底辟构造),其中火山底辟构造样式分布广泛^[13]。而垮塌构造主要受盆地内岩性影响,与沉积作用密切相关^[14],与地堑式构造相

构造样式	分类	模式图	实例
走滑构造样式	花状构造		
	雁列断层、褶皱		
	马尾状断层		

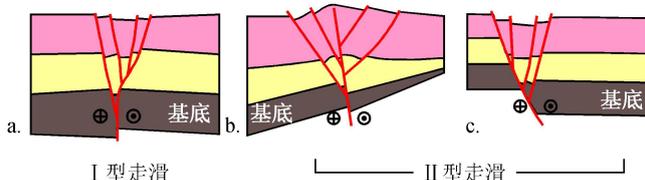


图 2 珠江口盆地与琼东南盆地走滑构造样式模式图

a. 早期走滑作用; b. 新生走滑作用(后期走滑作用); c. 继承性走滑作用

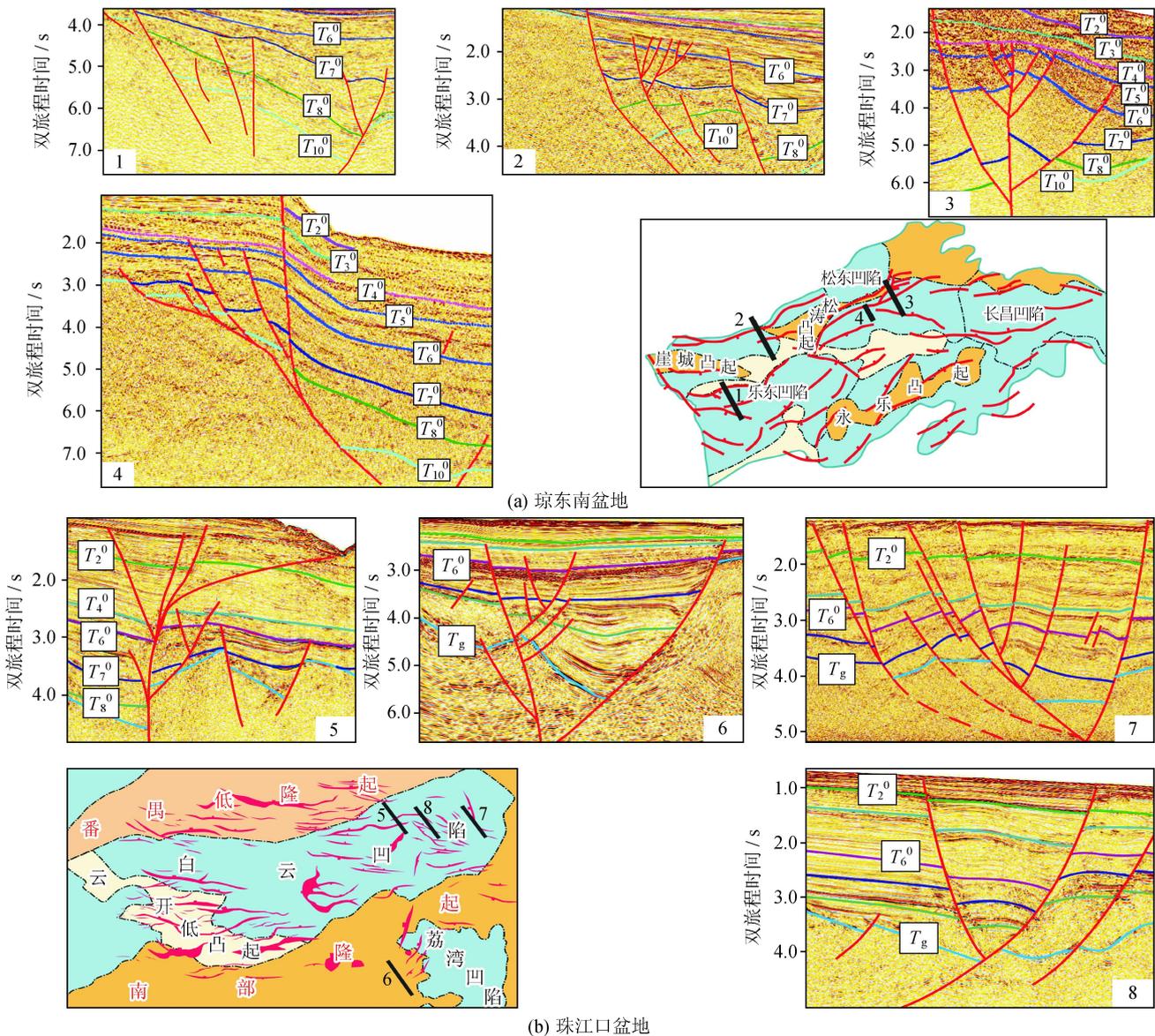


图 3 珠江口盆地与琼东南盆地走滑构造样式示意图

比,垮塌构造多发生于断层上盘地堑内,主要表现为一系列由重力所引起的次级断裂,规模明显小于边界断层。压实披覆构造的影响因素有两种,一是存在先存的古隆起,在古隆起上沉积地层形成顶薄翼厚的披覆构造;另一类主要是不同地层间差异负载引起起伏地层发生变形而形成的一类构造。第一类披覆构造主要受盆地先存构造的控制,而第二类披覆构造则主要与沉积地层的岩性、流体及岩石物理性质等相关。

2.3.2 滑动型重力构造样式

该构造样式形成的前提条件是要具有重力不稳定性^[15],地质体可沿斜坡下滑而形成重力构造^[16]。中中新世—第四纪南海海洋盆强烈沉降,南海北部盆地发生向洋倾斜,形成了大陆架—大陆坡—深海平原构造体

系,受其影响大陆坡附近地层具有明显的重力不稳定性,为重力滑动构造的形成提供了有利条件^[17],沿大陆坡广泛发育滑坡陡壁、滑塌沟谷、滑移面、滑坡台阶等典型滑坡地貌^[17]。

另一种滑动型构造样式系指当盆地内伸展作用强烈时,在盆地主干断层上盘形成潜在空间,在重力作用下可形成沿断层面滑动的滚动背斜构造,这类构造在琼东南盆地 5 号断裂带上盘表现明显(图 5),主要发育于盆地的裂陷构造层内。

但上述两种构造样式并非孤立存在,垂直型重力构造样式也可以表现出侧向运动特征,例如底辟作用所产生的顺层侵入构造;同时滑动型构造样式也具有垂向上的分量,在实际工作中应仔细甄别加以划分。

构造样式	分类	模式图	实例
垂直型	垮塌构造		
	压实披覆构造		
	底辟构造		
滑动型	滑动断层		

3 构造样式分布特征

3 类构造样式反应了不同类型盆地间的动力学特征。伸展构造主要分布于盆地的下构造层裂陷期盆地内,该时期在强烈伸展作用下形成琼东南盆地北部坳陷带、南部坳陷带等一系列半地堑盆地,琼东南盆地中央坳陷带则发育成明显的地堑构造(图 5)。而珠江口盆地内的开平—顺德凹陷,白云—荔湾凹陷则主要发育半地堑盆地,局部可见地堑型盆地(图 5),盆地内发育大量伸展断层。

走滑构造样式由于形成时间、类型上的差异,在两个盆地中分布区域不同。琼东南盆地边界断层走滑作用多发生在渐新世晚期,早期伸展断层发生沿走向滑动,在断层的两盘形成一系列走滑作用的相关构造,因此垂向上走滑构造样式多分布于裂陷期盆地上部及裂陷后坳陷期盆地内,平面上则分布在盆地内 NE 走向的 5 号断裂、2 号断裂两侧及 NW 走向断层附近。

图 4 珠江口盆地与琼东南盆地重力构造样式模式图

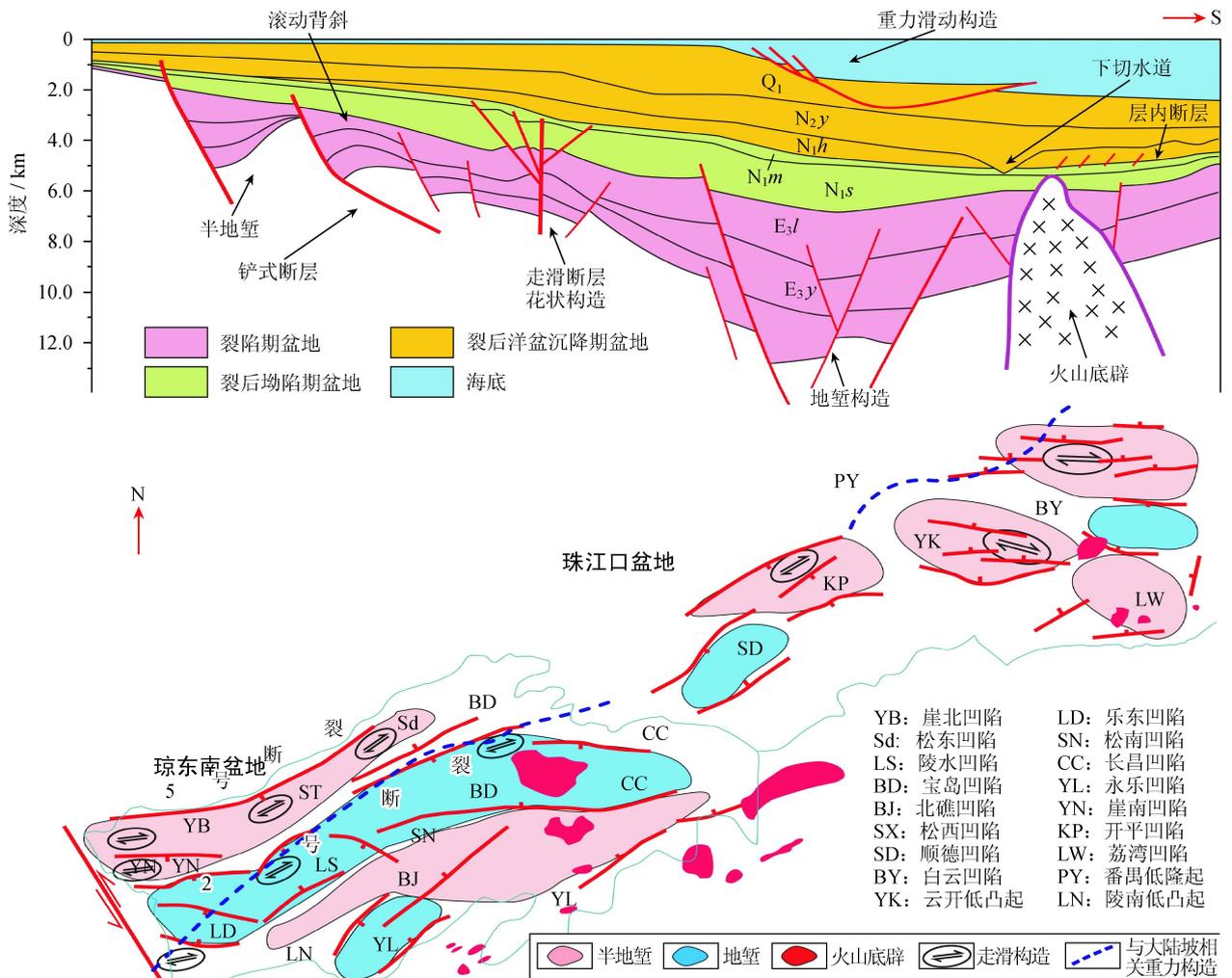


图 5 南海北部深水构造样式分布图

白云—荔湾凹陷走滑作用受基底断裂走滑作用控制明显,主要分布与云开低凸起及番禺低隆起之上。由于走滑断层形成时间较早,因此在垂向上走滑构造主要分布于裂陷期构造层内,而后期在区域应力场影响下,部分断层可活动至裂陷后拗陷期构造层内。

重力滑动构造样式多分布于具有明显地势差的大陆斜坡部位,主要分布于盆地中浅层。而与沉积作用相关的压实构造、多边断层及层内断层等构造样式^[18-19],大多位于裂陷后拗陷期盆地及裂陷后洋盆沉降期盆地内。底辟构造主要分布于盆地南部,火山底辟体活动强烈,自下之上可切穿至海底,而泥岩底辟体相对影响范围较少,仅影响了古近纪地层的变形。

南海北部深水区盆地垂向上发育多套储盖组合^[8,20],在不同构造层内均有油气发现。目前已有成果表明,局部构造样式分布特征仍是控制油气聚集的主要因素。因此笔者所提出的构造样式的划分方案对于油气勘探工作具有一定指导作用,建议在下一步工作中根据不同构造样式的类型及分布特征开展有针对性的研究,寻找潜在圈闭,不断推进深水区盆地的油气勘探进程。

4 结 论

1)南海北部深水区盆地自下而上可划分为裂陷期盆地、裂陷后拗陷期盆地及裂陷后洋盆沉降期盆地三层结构。不同期次盆地构造活动特征不同,裂陷期以强烈伸展作用为主要特征,裂陷后拗陷期表现为盆地垂直沉降作用,而裂陷后洋盆沉降期以南海中央海盆单侧沉降特征为主。

2)受益地动力学机制影响,盆地构造样式可以划分为伸展构造样式、走滑构造样式及重力构造样式。每一种构造样式均反映了不同的动力学背景。其中伸展构造样式在盆地内占主要地位,走滑构造样式及重力构造样式主要分布于盆地局部。

3)伸展构造样式主要分布于下构造层裂陷盆地构造层内;走滑构造样式主要分布于裂陷盆地构造层及裂陷后拗陷盆地构造层内;重力构造样式分布广泛,自盆地深层至盆地浅层均有分布,但表现形式不同。

致谢:撰写过程中,中海石油研究中心的秦长文、沈怀磊提供了大量资料,同时得到中国石油大学(北京)陈书平、何春波的指导和帮助。在此一并表示感谢!

参 考 文 献

[1] 姚伯初.南海新生代的构造演化与沉积盆地[J].南海地质研究,1998(10):1-17.

[2] 林长松,高金耀,虞夏军,等.南海北部新生代的构造运动特征[J].海洋学报,2006,28(4):81-86.

[3] 王福国,梅廉夫,施和生,等.珠江口盆地珠一拗陷古近系构造样式分析[J].大地构造与成矿学,2008,32(4):448-454.

[4] 姜华,王华,肖军,等.珠江口盆地珠三拗陷构造反转与油气聚集[J].石油学报,2008,29(3):372-377.

[5] 吴时国,孙启良,吴拓宇,等.琼东南盆地深水区多边形断层的发现及其油气意义[J].石油学报,2009,30(1):22-26.

[6] 孙龙涛,周蒂,陈长民,等.珠江口盆地白云凹陷断裂构造特征及其活动期次[J].热带海洋学报,2008,27(2):25-31.

[7] 何家雄,陈胜红,崔莎莎,等.南海北部大陆边缘深水盆地烃源岩早期预测与评价[J].中国地质,2009,36(2):404-416.

[8] 张功成,米立军,吴时国,等.深水区——南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J].石油学报,2007,28(2):15-21.

[9] 袁玉松,丁玫瑰,南海北部深水区盆地特征及其动力学背景[J].海洋科学,2008,32(12):102-110.

[10] 刘昭蜀,赵岩,李希宗,等.珠江口盆地的扩张旋回及其与含油气性的关系[J].热带海洋,1995,14(3):8-15.

[11] 戴俊生,陆克政,漆家福,等.渤海湾盆地早第三纪构造样式的演化[J].石油学报,1998,19(4):16-20.

[12] 能源,漆家福,张春峰,等.金湖凹陷石港断层构造演化及油气聚集特征[J].石油学报,2009,30(5):667-671,677.

[13] 王家豪,庞雄,王存武,等.珠江口盆地白云凹陷中央底辟带的发现及识别[J].地球科学——中国地质大学学报,2006,31(2):209-213.

[14] 钟建华,李理,黄河断流后三角洲(水上平原)的滑塌构造研究[J].沉积学报,2000,18(1):7-12.

[15] 马杏垣,索书田,刘如琦.嵩山构造变形——重力构造、构造解析[M].北京:地质出版社,1981.

[16] 索书田,侯光久.鄂东黄石地区三叠纪岩层中发育的重力滑动构造——重力不稳定性在控制构造变形和地质灾害过程中的作用[J].地质科技情报,2009,28(6):1-9.

[17] 孙运宝,吴时国,王志君,等.南海北部白云大型海底滑坡的几何形态与变形特征[J].海洋地质与第四纪地质,2008,28(6):69-77.

[18] 吴时国,孙启良,董冬冬.深水盆地中多边形断层的几何特征与形成机制探讨[J].地质力学学报,2008,14(3):231-240.

[19] 吴时国,孙启良,吴拓宇,等.琼东南盆地深水区多边形断层的发现及其油气意义[J].石油学报,2009,30(1):22-26,32.

[20] 张凤久.我国南海天然气开发前景展望[J].天然气工业,2009,29(1):17-20.

(修改回稿日期 2011-06-10 编辑 罗冬梅)