# 南海西北次海扩张时代和洋壳性质: 沉积地层及重磁依据

魏喜1),祝永军1),陈亦寒2),胡礼国1),武金云3),姜建群1),李振远1)

1) 中国石油辽河油田海南油气勘探分公司,辽宁盘锦,124010; 2) 中国石油大学,北京,100023; 3) 中国石油杭州地质研究院,杭州, 310023

内容提要:利用沉积地层被动超覆和基底重磁异常特征对南海西北次海形成时代和洋壳性质进行了探讨。推 断南海西北次海初始扩张时间为早渐新世,结束扩张时间为晚渐新世早期。地层变形、被动超覆特征、洋壳基底形 态及对称性特点反映出两期洋壳扩张事件。第一期发生在早渐新世。由于洋壳扩张,上始新统被拉断,在洋壳边 界处上始新统突然终止现象明显。受洋壳横向扩张推挤和纵向沉降作用影响,上始新统明显变形,并向扩张中心 倾覆。第二期洋壳扩张发生在晚渐新世早期。该期洋壳扩张持续时间短,扩张幅度小,下渐新统被拉开的距离有 限。由于南海西北次海形成期间不同部位地壳伸展减薄程度不同,南海西北次海洋壳基底呈北东部较宽,向南西 方向变窄,并逐渐尖灭的不规则三角形。根据盆地边缘上始新统向海盆中心方向的断点/线和重磁异常资料,推测 西北次海南西侧洋壳边界位于海盆基底坡角处附近,洋壳较窄;而北东侧洋壳边界位于海底坡角处附近,洋壳相对 较宽。另外,重磁异常表明,在洋壳基底中有陆壳残留块体存在。上述这些现象说明南海西北次海在洋壳萌芽阶 段就先天夭折,停止发育。

关键词:洋壳性质;扩张时代;重磁异常;沉积地层;南海西北次海

南海盆地形成问题在 20 世纪 80 年代初期开始 进入研究高潮,先后有大量研究成果发表。如 Taylor 等(1980,1983)利用中美合作调查的综合地 球物理资料以及前苏联科学家观测的重力资料,在 该海盆中部发现走向 NE、波长 30~60km、异常值 为15×10<sup>-5</sup>~30×10<sup>-5</sup>ms<sup>-2</sup>的重力异常带,认为是 扩张中心。根据对比出的 5a~11 号磁异常条带,确 定海底扩张时间为 25~17Ma。陈圣源(1987)利用 中美合作调查的综合地球物理资料,在西南次海对 比出 M7~M11 号磁异常条带,确定海底扩张年龄 为126~119Ma。何廉声(1987)认为南海在中一新 生代发生过两次海底扩张,第一次发生在白垩纪,产 生了西南海盆,第二次发生在晚渐新世至早中新世, 产生了中央海盆。吕文正(1987)在中央海盆对比出 27~32 号磁异常条带,认为海底扩张发生在晚白垩 世(76~63Ma)。Hayes(1990)和 Briais 等(1993)利 用多波束测深和地磁异常资料,在西南次海中对比 出 5c~6b 号磁异常条带,据此认为海底扩张年代为 24~15.5Ma。姚伯初(1991)根据海盆中磁异常条 带的走向及其与区域地质构造和沉积构造层组合的 对比,推测西南次海的海底扩张时间为始新世。姚 伯初等(1994)利用中美合作第二阶段调查的地磁资 料,采用高通滤波方法,去掉洋壳 2A 层之下地壳中 磁性体的影响,对比出 18~23 号磁异常条带,推测 西南次海海底扩张年代为晚始新世到早渐新世(42 ~35Ma)。刘海龄等(1998, 2004)根据礼乐半地堑 盆地充填的地层、洋壳基底之上覆盖的地层特征以 及南海北部新生代沉积基底构造演化,认为南海盆 地开始扩张时间为晚白垩世。Huchon 等(1998)根 据万安盆地重力资料和盆地充填特征,认为南海西 南次海形成时代为21~15Ma。这些成果说明人们 对中央海盆和西南次海具有洋壳基底的观点是一致 的,但从另一个侧面也反映出南海形成时代存在争 议。近年来,Hayes 等(2005)在充分总结前人研究

2012

收稿日期:2010-09-01;改回日期:2011-11-24;责任编辑:郝梓国,黄敏。

注:本文为中国石油南海北部地区重大勘探专项(编号 200403037)资助的成果。

作者简介:魏喜,男,1964年生。博士后,高级工程师。主要从事岩石学和海洋石油地质研究。电话:0427-7298936;Email:weixi2114@ 163. com.

DOI: CNKI: 11-1951/P. 20120307.1328.012 网络出版时间: 2012-3-7 13: 28

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1951.P.20120307.1328.012.html

成果的基础上,根据南海盆地深源透射地震资料研究,认为海底扩张时间为 32~15.5Ma,并表现出中 央海盆扩张早于西南次海,这是目前南海形成时代 的主流观点。然而,关于南海盆地形成时代的文献 资料主要来自中央海盆和西南次海的研究成果。对 西北次海的研究成果未见相关报道。本文试图根据 二维地震和重磁资料,从新生代地层充填特征和盆 地基底重磁异常角度入手,对南海西北次海扩张时 代和洋壳特征进行探讨。

## 1 地质背景

中国南海是太平洋西侧最大的边缘海,位于 欧亚、印度、澳大利亚和太平洋等板块的交接部位 (刘昭蜀等,2002),属欧亚板块的东南边缘,进一 步分为西北次海、西南次海和中央海盆(Taylor et al, 1980, 1983; 陈 圣 源, 1987; 姚 伯 初 等, 1994; Hayes et al,2005)。南海西北次海位于南海北部 陆坡和海底平原转换部位,北、西和南三个方向分 别为一统暗沙、西沙和中沙等周缘隆起围限,东部 逐渐向中央海盆转换,平面上呈顶角较小、尖端朝 南西的三角形(图1)。南海西北次海盆地基底包 括3个正向次级构造单元和3个负向次级构造单 元,前者包括双峰凸起、峰西南凸起和东部斜坡 带,后者包括峰北凹陷、峰南凹陷和峰西南凹陷 (图 2)。负向构造单元中,峰北凹陷和峰南凹陷面 积较大,分别为11300 km<sup>2</sup>和13500 km<sup>2</sup>,峰西南 凹陷面积较小, 仅为 5600 km<sup>2</sup>。



Fig. 1 Location of Northwest sub-Sea of the South China Sea Basin



图 2 南海西北次海盆地构造单元划分(图中红线 AA'、 BB'、CC'和 DD'为图 4 至图 7 的剖面位置)

Fig. 2 Construct cell partition of the Northwest sub-Sea of the South China Sea Basin (red line AA', BB', CC' and DD' is the location of profile in Fig. 4 to Fig. 7)

## 2 研究方法

#### 2.1 沉积地层对洋壳扩张时代判别的理论分析

南海西北次海盆地的形成经历了裂陷期(陆缘 断陷)、漂移期(洋壳扩张)和裂后期(坳陷)三个阶 段,其中,漂移期对应着西北次海的洋壳扩张时期。 因此,如果不考虑沉积间断和地层抬升剥蚀,被洋壳 断开的陆缘裂陷期最上部的地层时代代表洋壳扩张 起始时间;而在扩张中心部位上覆最老的地层时代 代表洋壳扩张结束时间。随着洋壳扩张,被撕裂的 地层相对于扩张中心向两侧分离,其间形成洋壳基 底。由于地幔能量是间歇性释放的,每次侵出地表 的地幔物质都沿着扩张中心走向呈条带状分布,并 记录当时的地磁极性特征,形成磁条带,其年代由两 侧向中心逐渐变新,而上覆沉积地层逐渐向扩张中 心"被动超覆"(被动超覆:由基底增生引起的上覆沉 积地层的超覆现象,即由于洋壳扩张,推动前期洋壳 上的沉积地层向两侧迁移,进而引起后来形成的沉 积地层向洋壳扩张中心的超覆现象,这种超覆现象 不是在基底不变的情况下,由水体进退和沉积变化 所引起,因此,笔者称之为被动超覆)。因此,理论上 讲,洋壳之上沉积地层的超覆界限与磁条带分界线 一致。也就是说,大洋盆地形成过程中的洋壳扩张 约束着上覆地层的沉积;反过来,沉积地层记录大洋 盆地洋壳基底的形成演化过程(图 3)。由于研究区



图 3 陆缘盆地向大洋盆地演化的理论模式

Fig. 3 Conceptual evolution model from borderland basin to oceanic basin

目前尚未钻探,因此,地层的划分主要根据周围已钻 探地区地震反射特征的横向对比,并通过区域大剖 面将地层层位界限引到南海西北次海盆地。

#### 2.2 重、磁异常对洋壳性质的揭示

重力勘探是一种测量与围岩有密度差异的地质 体在其周围引起的重力异常,以确定这些地质体存 在的空间位置、大小和形状(曾华霖,2005)。由于观 测的重力值受地下岩层密度分布、潜山地形地貌等 诸多参数影响,因此,必须对观测的重力值进行相应 的改正,进而获得由地下密度分布引起的重力异常。 本文采用自由空间重力异常和剩余重力异常。由于 西北次海的形成表现为软流圈上拱,地壳表层下陷, 并有玄武质岩浆上侵形成海山,因此,利用重力异常 可以对洋壳边界和海底地形地貌进行判别。

组成地壳的岩石有着不同的磁性,可以产生各

不相同的磁场,使地球磁场在局部地区发生变化,形 成磁异常(管志宁,2005)。由于地球本身就是个大 磁体,所以,必须对实测的磁力原始数据进行化向地 磁极处理,获得只与局部地区地壳岩石矿物磁性有 关的磁力异常。本文采用化极异常和垂直一次导数 异常。一般磁性矿物含量越高,磁性越强,产生磁力 异常越大。根据区域岩石磁性统计(李唐根,1987; 刘蓓莉,1990;郭友钊等,2001),火成岩的磁性最强, 变质岩居其次,沉积岩的磁性最弱。在火成岩中,随 着基性程度增加,岩石磁性变强。根据前人研究(王 家林等,2002;陈冰等,2005),南海盆地北部地区前 新生代基底岩性主要为中酸性岩浆岩、变质岩和中 生代沉积岩等,这些岩性的磁性应当比西北次海盆 地新生基性岩浆岩洋壳弱。因此,利用磁力异常可 以对洋壳性质和分布范围进行识别。



图 4 南海西北次海盆地峰西南凹陷 NW-SE 向地震 剖面特征及地层层序解译(剖面位置见图 2,DD'为交叉 剖面位置)

Fig. 4 NW-SE Seismic profile and its stratum sequence interpretation Southwest sag of the Northwest sub-Sea of the South China Sea Basin (the profile location show in Fig. 2, DD is the location of cross profile)



图 5 南海西北次海盆地峰北凹陷和峰南凹陷 NW—SE 向地震剖面特征及地层层序解译(剖面位置见图 2,DD' 为交叉剖面位置)

Fig. 5 NW-SE Seismic profile and its stratum sequence interpretation Southwest sag of the Northwest sub-Sea of the South China Sea Basin (the profile location show in Fig. 2, DD' is the location of cross profile)

## 3 研究结果

#### 3.1 地层充填序列及特征

根据上述依据,在地震剖面上识别出 Tg、T<sub>7</sub>、 T<sub>6</sub>、T<sub>5</sub>、T<sub>4</sub>和 T<sub>0</sub>六个地层界面(图 4,图 5)。其中, Tg 是双峰盆地沉积地层基底面,在盆地边部为过渡 地壳,中部为洋壳;T<sub>0</sub>是沉积地层顶界面(海底面)。 据此确定双峰盆地的地层层序自下而上依次是上始 新统(Tg—T<sub>7</sub>)、下渐新统(T<sub>7</sub>—T<sub>6</sub>)、上渐新统 (T<sub>6</sub>—T<sub>5</sub>)、下中新统(T<sub>5</sub>—T<sub>4</sub>)和上中新统一第四系 (T<sub>4</sub>—T<sub>0</sub>)等五套地层。上始新统仅出现在双峰盆 地的边缘部位,向盆地边缘逐渐尖灭,向盆地中心突 然终止。这套地层变形明显,整体向盆地中心高角 度倾斜。下渐新统的分布范围明显增大,向盆地边 缘和中心两个方向都超覆在上始新统之上,分布不 均匀。在峰西南凹陷,该套地层的厚度较峰北和峰 南凹陷大,而在盆地中心地带缺失下渐新统。上渐 新统除在较高的岩浆岩岩隆之上没有沉积之外,分 布广泛,但平面上厚度变化较大,具有一定的填平补 齐的特点。在盆地中心部位被动超覆在下渐新统之 上。下中新统和上中新统一第四系厚度较大,地层 平缓,未见变形现象,与下伏地层整合接触。



图 6 南海西北次海盆地 SW—NE 向地震剖面特征 及重磁异常(D-D'与图 2 中的剖面位置对应)

Fig. 6 SW-NE Seismic profile and its gravity-magnetism abnormity of the Northwest sub-Sea of the South China Sea Basin (D-D' correspond with the profile in Fig. 2)



图 7 南海西北次海 CC'地震剖面特征及重磁异常 Fig. 7 CC' Seismic profile and its gravity-magnetism abnormity in Northwest sub-Sea of the South China Sea

#### 3.2 重、磁异常特征

西北次海盆地及周围隆起区具有明显的重、磁 异常表现(图 6,图 7),主要表现为:

(1)在西北次海盆周围隆起区,一般表现为负磁 异常和高重力异常,局部出现正磁异常和低重力异 常。

(2)在陆坡向次海盆转换部位,重力异常值急剧

减小,磁力异常急剧增加,有时磁力异常表现为先下 降,然后在急剧增加。

(3)在次海盆中央,重力异常值一般较低,但在 某些部位又有不同程度地增大;磁力异常一般为较 高的正异常,但在某些部位又表现为负磁异常。

4 讨论

## 4.1 西北次海扩张时代

根据新生代地层的充填、分布和产状特征,推断 南海西北次海初始扩张时间为早渐新世,结束扩张 时间为晚渐新世早期。地层超覆特征、洋壳基底形 态和对称性特点至少反映出两期洋壳扩张事件。第 一期发生在早渐新世,由于洋壳扩张,上始新统被拉 断,并向盆地两边推挤,地层变形并向扩张中心倾斜 和突然终止现象明显。在西北次海边部部分地段出 现的基性岩浆岩岩隆是洋壳扩张的产物(图 4、5)。 这期扩张在西北次海的北东和南西两侧具有一定差 异,前者较后者扩张幅度大,产生的洋壳更宽阔。这 种扩张幅度的差异使西北次海北东侧具有较大的可 容空间范围,其上覆的下渐新统厚度明显变薄。第 二期洋壳扩张发生在晚渐新世早期,持续的时间较 短,扩张幅度较小,下渐新统被拉开的距离有限,在 扩张中心部位出现两个对称的基底凸起(图 4)。另 外,上渐新统的沉积特点也较好地反映了第二期洋 壳扩张的上述特征。下中新统以上地层厚度较大, 地层平缓,未见明显的变形现象,局部地区受基底地 形控制,形成披覆背斜,反映出裂陷后期沉积的特 点。说明南海西北次海结束海底扩张之后,一直处 于平稳的区域热沉降状态。

## 4.2 西北次海洋壳范围和性质

洋壳范围的确定主要依据两个方面的证据。一 是盆地边缘上始新统向下倾覆的断点/线为洋壳边 界。这种地层突然终止并向扩张中心倾覆的现象是 洋壳扩张、地壳深断和下陷的结果(图 4、5)。二是 利用重磁异常资料确定洋壳边界。研究表明,西北 次海南西侧和北东侧洋壳边界的位置有一定的差 异。在海盆的南西侧,陆壳/过渡地壳向洋壳转化部 位出现明显的重力低异常和磁力负异常带,对应着 盆缘深大断裂带,说明这个重磁异常带是盆缘断层 引起的,可以看作洋陆转换带(图 6)。在该处海盆 边缘带,上始新统在盆地基底坡角处突然终止(图 4)。因此,推测西北次海南西侧洋壳边界位于海盆 基底坡角处附近,洋壳较窄,宽度在 60km 以下。在 西北次海的北东侧,海盆边缘从盆缘隆起向海盆中 心方向重力异常突然降低,磁力异常骤然由高负异 常变为高正异常(图 7)。在该处海盆边缘带,上始 新统在海底坡角处就突然终止。推测西北次海北东 侧洋壳边界位于海底坡角处附近,洋壳相对较宽,宽 度在 120km 以上(图 5)。南海西北次海这种洋壳范 围的差异变化与南海盆地洋壳整体变化趋势一致, 可以利用地壳伸展减薄程度的不同加以解释(阎贫 等,2002;Hayes et al,2005),也就是说,南海西北次 海在相同的伸展强度下,南西侧海域主要表现为地 壳减薄,而洋壳增生量相对较小,洋壳范围较窄,与 南海西部地区相当(Hayes et al,2005);而西北次海 北东侧海域地壳减薄程度相对较小,伸展强度主要 以洋壳增生形式体现,洋壳宽度较大,与南海东部地 区相当(Hayes et al,2005)。

另外,南海西北次海盆地基底整体上表现为低 重力异常和高磁力异常,但重磁异常又有一定的起 伏变化。其中,重力异常曲线的波动变化,反映基底 地形波状起伏;磁力异常曲线的波动变化,反映了基 底岩石属性的差异,明显的低磁异常部位可能是残 留陆壳基底的表现(图7)。这说明南海西北次海底 扩张还处于萌芽阶段就停止了发育。

## 5 结论

(1)南海西北次海洋壳发育时间短暂,根据新 生代地层充填序列、分布和超覆特征,确定洋壳初始 扩张时间为早渐新世,结束扩张时间为晚渐新世。

(2)南海西北次海洋壳基底范围较小,呈不规则三角形,表现为南西较窄,边界位于海盆基底坡角处附近;北东略宽,边界位于海底坡角处附近。另外,磁力异常表明,在洋壳基底中有陆壳残留块体存在。这些现象表明了南海西北次海在处于洋壳形成萌芽阶段就先天夭折,停止发育。

#### 参考文献

- 陈圣源. 1987. 南海磁力异常图. 南海地质地球物理图集. 广州: 广 东地图出版社.
- 何廉声. 1987. 南海地质构造图. 南海地质地球物理图集. 广州: 广 东地图出版社.
- 陈冰,王家林,钟慧智,郝沪军.2005. 南海潮汕坳陷前第三纪盆地 结构地球物理研究.同济大学学报(自然科学版),33(9):1274 ~1280.
- 管志宁. 2005. 地磁场与磁力勘探. 北京: 地质出版社.
- 郭友钊,董杰,陈达,吕生元.2001.河北省区域岩石磁性的统计特征.物探与化探,25(5):328~343.
- 李唐根. 1987. 南海北部沿海陆地及岛屿岩石密度、磁性的测定与 研究. 海洋地质与第四纪地质,03:57~69.
- 刘蓓莉.1990. 区域岩石物性在地质工作中的应用. 物探与化探,

14(01): 32~36.

- 刘海龄,杨树康,周蒂,张毅祥,郭令智,孙岩,舒良树. 1998. 南 沙北部伸展构造的基本特征及其动力学意义. 高校地质学报, 4(1):64~72.
- 刘海龄,杨恬,朱淑芬,张伯友,邱学林,施小斌. 2004. 南海西北 部新生代沉积基底构造演化. 海洋学报,26(3):54~67.
- 刘昭蜀,赵焕庭,范时清,陈森强. 2002. 南海地质. 北京:科学出版社.
- 吕文正. 1987. 南海中央海盆条带磁异常特征及构造演化. 海洋学报,9(10):69~78.
- 王家林,张新兵,吴健生,陈冰,钟慧智,李平鲁,苏乃容. 2002. 珠江口盆地基底结构的综合地球物理研究.热带海洋学报,21 (02):13~22.
- 阎贫,刘海龄. 2002. 南海北部陆缘地壳结构分析. 热带海洋学报, 24 (02): 1~12.
- 姚伯初.1991.南海海盆在新生代的构造演化.南海地质研究,3:9 ~23.
- 姚伯初,曾维军,Hayes D E, Spangler S. 1994. 中美合作调研南海 地质专报. 武汉:中国地质大学出版社.
- 曾华霖. 2005. 重力场与重力勘探. 北京: 地质出版社.

Briais A, Patrial P, Tapponnier P. 1993. Updated interpretation of

magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of Souteeast Asia. J. Goephys. Res., 98: 6299~6329.

- Hayes D E, Nissen S S. 2005. The South China sea margins: Implications for rifting contrasts. Earth and Planetary Science Letters, (237): 601~616.
- Hayes D E. 1990. The tectonic evolution of the Great South China Sea. AAPG Bull, 74: 978.
- Huchon P, Nguyen T N H, Chamot-Rooke N. 1998. Finite extension across the South Vietnam basins from 3D gravimetric modelling: relation to South China Sea kinematics. Marine and Petroleum Geology, (15): 619~634.
- Taylor B, Hayes D E. 1980. The tectonic evolution of the South China Sea Basin. In: Hayes D E (ed.) The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands., AGU, Geophys. Monogr. Ser., 23: 89~104.
- Taylor B, Hayes D E. 1983. Origin and history of the South China Sea Basin. In: Hayes D E. (ed.), The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, 2, AGU, Geophys. Monogr. Ser., 27: 23~56.

## Ocean Crust Character and Spreading Age of Northwest Sub-sea, the South China Sea: Evidence from Sediment Strata and the Abnormity of Gravity and Magnetism

WEI Xi<sup>11</sup>, ZHU Yongjun<sup>11</sup>, CHEN Yihan<sup>21</sup>, HU Liguo<sup>11</sup>, WU Jinyun<sup>31</sup>,

JIANG Jianqun<sup>1)</sup>, LI Zhenyuan<sup>1)</sup>

1) Hainan Oil & Gas Exploration Subcompany, Liao Oilfield, PetroChina, Panjin, Liaoning, 124010; 2) China University of Petroleum, Beijing, 10224; 3) Hangzhou Petroleum Geology Institute, PetroChina, Hangzhou, 310023

#### Abstract

Using sediment strata and the abnormity of gravity and magnetism, the spreading age and character of northwest sub-sea basement of South China Sea was discussed. The sea floor spreading age was deduced at early Oligocene at the beginning and at the forepart of late Oligocene in the end. Twice periods of sea-floor spreading were implicated by stratum deformation, passive overlap, oceanic crust configuration and its symmetry. The first one occurred at early Oligocene during which the upper Eocene was snapped, deformed and overturned to spreading center on account of sea floor expanding, subsiding, and its pushing and shoving. The second one took place at the forepart of late Oligocene during which lower Oligocene was pulled apart at a limited distance because of short time and lesser range of sea-floor expanding. As a result of the different degree of lithosphere thinning and extending, the northwest sub-sea basement show a triangle with a wide edge in northeast and becoming narrow and vanishing to the southwest. The ocean crust boundary was deduced at the turning of the northwest sub-sea basement in southwest region and at turning of the northwest sub-sea floor in northwest region based upon the upper Eocene snapped points and the abnormity of gravity and magnetism of northwest sub-sea basement. In addition, the abnormity of gravity and magnetism indicate that rudimental continental crust may exist in the neonatal ocean crust. These phenomena, mentioned above, illuminate that the northwest sub-sea of South China Sea came to an untimely end when the sea floor spreading was at its bud period.

**Key words**: ocean crust character; sea-floor spreading age; abnormity of gravity and magnetism; sediment stratum; northwest sub-sea of South China Sea