

南海深海盆的沉积充填

解习农¹, 朱伟林², 李学杰³, 姚永坚³, 姜涛¹, 梁超¹

1. 中国地质大学(武汉)海洋学院, 武汉 430074

2. 同济大学海洋与地球科学学院, 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

3. 广州海洋地质调查局, 广州 510075

摘要 依据大洋钻探井及地震剖面资料, 定量确定南海同扩张期和后扩张期深海盆沉积充填差异及沉积物来源变化。研究显示, 南海深海盆自渐新世(32 Ma)开始形成, 随着南海二次扩张海盆范围逐渐扩大, 海盆内主要充填火山碎屑角砾岩及火山灰, 碳酸盐岩、超微化石软泥, 泥质粘土、粉砂质粘土、泥岩及粉细砂岩。深海盆充填主要沉积物为晚中新世(11.6 Ma)以来的陆源碎屑沉积, 丰富陆源碎屑的供给与南海闭合过程中同期区域构造事件(如青藏高原快速隆升、菲律宾板块俯冲)密切相关, 也与晚中新世以来东亚季风增强以及源区强烈的风化剥蚀有关。

关键词 南海深海盆; 边缘海沉积充填; 源-汇系统

南海是西太平洋最大边缘海, 其二次扩张导致东部次海盆、西北次海盆和西南次海盆3个深海盆形成。由于南海区域构造特色及有丰富地质资料, 已经成为认识西太平洋地区板块相互作用、大陆边缘演化和边缘海动力学机制及其资源效应的天然实验室^[1]。南海扩张始于渐新世(32 Ma), 其中东部次海盆和西南次海盆海底开始扩张时间分别为32 Ma和23 Ma, 南海扩张的结束时间分别为~15 Ma和~16 Ma。南海成因不同于大西洋型的岩石圈破裂模型, 而是“板缘破裂”(plate-edge rifting)

模型^[2], 呈剪刀式自东向西扩张导致南海深海盆形成和扩张, 相应地沉积充填也呈现自东向西由老变新的特点。近半个世纪以来, 中国南海油气资源勘探及海洋调查对南海陆缘区沉积充填研究已取得了丰硕成果, 但对深海盆沉积充填研究仍十分薄弱。本研究依据大洋钻探井及地震剖面资料, 定量确定南海同扩张期和后扩张期的沉积充填差异变化, 揭示南海深海盆沉积物来源及源-汇系统特征。

收稿日期: 2020-04-25; 修回日期: 2020-06-11

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划集成项目(91528301)

作者简介: 解习农, 教授, 研究方向为海洋地质, 电子信箱: xnxie@cug.edu.cn

引用格式: 解习农, 朱伟林, 李学杰, 等. 南海深海盆的沉积充填[J]. 科技导报, 2020, 38(18): 62-67; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.18.010

1 深海盆沉积充填特征

1.1 深海沉积物岩性组成

南海经历了3轮大洋钻探(ODP 184、IODP 349、IODP 367/368/368X),共有18口钻井,岩芯长度9783 m^[3],这些岩芯揭示深海盆充填有3类岩石,一类为火山碎屑角砾岩及火山灰,一类为碳酸盐岩、超微化石软泥,另一类为泥质粘土、粉砂质粘土、泥岩及粉细砂岩。

南海深海盆的大洋钻探已有井位大部分集中于南海深海盆的北缘,仅有4口井分布于东部次海盆南部和西南次海盆,即位于东部次海盆南部IODP349-U1431井、位于西南次海盆IODP349-U1433、U1434和ODP184-1143井。位于北部陆缘以IODP367-U1499井为例,渐新世为砂砾岩、火山岩夹层及火山角砾岩,早中新世以超微化石软泥和黏土岩为主,中中新世以来以陆源碎屑为主^[4]。位于东部次海盆南部IODP349-U1431井钻遇下中新统,为玄武岩夹黄棕色泥岩,间夹深灰色火山碎屑角砾岩中中新统为深灰色砂岩与黏土岩互层,上中新统下部为火山角砾岩与黏土岩互层,之上为粉砂岩与黏土岩互层,间夹少量含微型浮游生物的软泥。与北部陆缘钻井相比,位于西南次海盆IODP349-U1433、U1434和海盆东侧ODP184-1143井

早-中中新世超微化石软泥比例较大,同样,晚中新世以来以陆源碎屑为主,仅有少量超微化石软泥沉积。

已有钻井揭示深海盆主要发育4类沉积产物,一类为深海盆局部残余断陷内充填的砂砾岩沉积;一类为碎屑岩浊流沉积和碳酸盐岩浊流沉积,前者主要发育于中中新世以来,特别是上新世以来,后者主要发育于早-中中新世;一类深海软泥沉积,包括远洋红层;另有一类为火山碎屑角砾岩及火山灰夹层。

1.2 沉积物厚度分布特点

海盆区沉积充填厚度依据ODP和IODP钻井分层及井震结合闭合形成测网,然后采用基于IODP钻井所构建的时深转换公式^[5],考虑到3个次海盆形成时间及南海扩张同期及后期构造事件,分成4个地层单元分别计算不同时期地层厚度(图1)。

渐新统-下中新统(32—16 Ma)沉积充填主要集中在北部(图1(a))。渐新世南海第一次扩张导致西北次海盆和东部次海盆打开,开始接受沉积,该时期西北次海盆和东部次海盆厚度不足100 m。南海25—23 Ma扩张脊向南跃迁导致西南次海盆开始扩张,早中新世东部次海盆南部和西南次海盆开始接受沉积,但沉积厚度也很薄,基本小于100 m。同期大于300 m的2个沉积中心位于西北次海

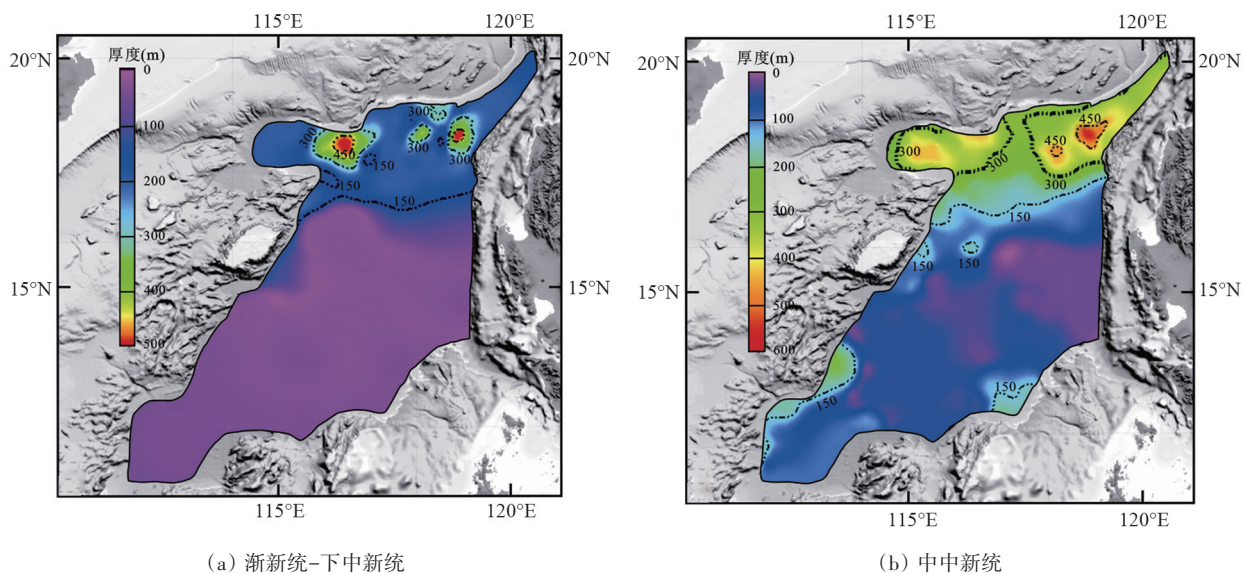


图1 现代南海深海盆沉积厚度

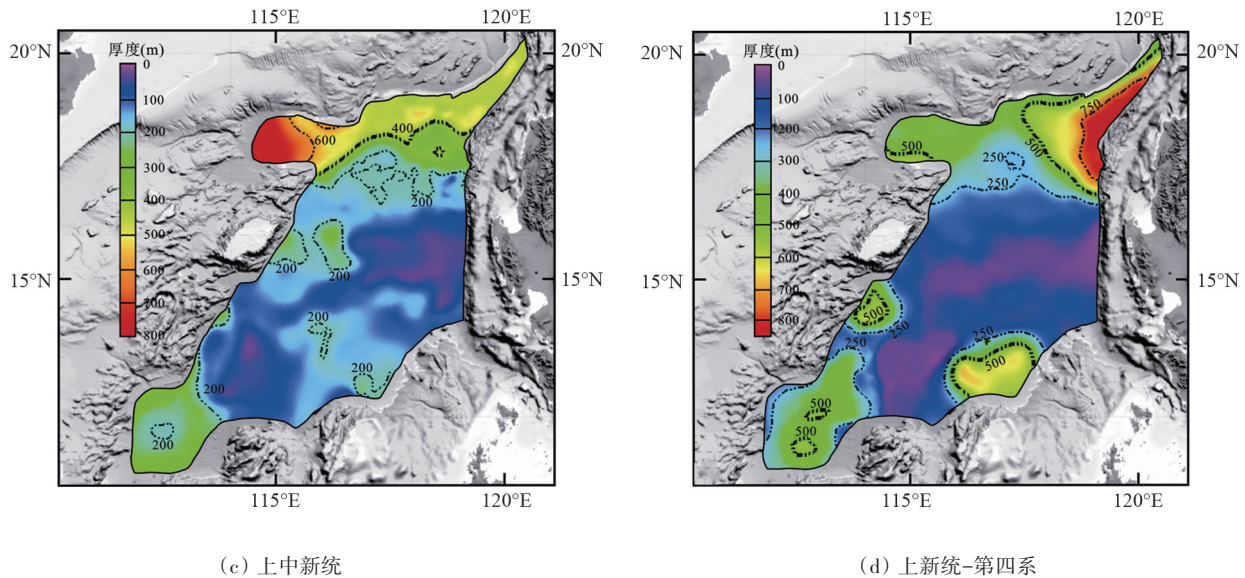


图1 现代南海深海盆沉积厚度(续)

盆和东部次海盆北部。

中中新统(16—11.6 Ma)沉积厚度继承了下中新统沉积特点,沉积中心分布于北部(图1(b))。西北次海盆厚度300~500 m,东部次海盆呈现北厚南薄特点,特别是东北部最厚可达600 m;西南次海盆除海盆边缘局部达200 m外,大部分地区厚度不足100 m。

上中新统(11.6—5.5 Ma)厚度明显增大,沉积中心同样集中在北部(图1(c))。西北次海盆厚度500~700 m,西部和北部厚度最大,最厚处超过800 m,占总充填厚度的50%以上;东部次海盆继承下中新统充填特点,北厚南薄,特别是东北部最厚可达600 m;西南次海盆厚度较下中新统有所增大,但厚度仍然较小,不足300 m。

上新统-第四系(5.5 Ma—今)厚度沉积中心主要分布于东部次海盆的东北缘(图1(d)),最大厚度可达800 m;西北次海盆厚度有明显减小且变化不大,为300~350 m;西南次海盆西南角沉积厚度明显增大,厚度在300 m以上,最厚处达500 m。

2 深海沉积物来源分析

从现代南海深海盆沉积厚度可以看出,深海盆沉积厚度北部最大,西北次海盆和东部次海盆北部

厚度介于900~1400 m,最大厚度1500 m以上。深海盆已有钻井资料表明,深海盆主要沉积物来源有以下几类:一类是盆内物源堆积,包括扩张期火山角砾岩以及含超微化石软泥;一类是近源沉积物,主要分布于深海盆边缘,包括来自于中沙隆起和南沙隆起的碳酸盐岩滑塌沉积和北部一统暗沙斜坡区陆源碎屑滑塌堆积;另一类为远源沉积物,主要集中在北部深盆区。有3个沉积物搬运通道:一是西北缘陆源碎屑沿西沙海槽及中央峡谷系统进入西北次海盆,其中上中新统沉积厚度占到总厚度的一半,地震剖面资料分析清晰显示上中新统从西向东延伸的浊积水道及多个进积海底扇体叠置,说明晚中新世时期莺歌海盆地、琼东南盆地及越东地区陆源碎屑通过中央峡谷输送大量沉积物堆积于西北次海盆;二是通过珠江输送大量沉积物沿珠江口陆坡和珠江口外峡谷系统输送到东部次海盆,从渐新世开始此通道一直存在,在珠江口陆坡及深海平原形成一系列海底扇沉积区;三是沿东部俯冲带周缘及近南北向高屏-澎湖峡谷系统输送陆源碎屑沉积物到东部次海盆,上新世以来东北侧发育明显的自东向西前积楔状体,反映了俯冲带增生楔形成。此外,西南次海盆及东部次海盆南部与陆架陆坡区均有海隆相隔,陆源碎屑无法直接送达深海盆,但IODP 349-U1433孔地球化学和矿物学证据

表明,大约 8 Ma 以来大量湄公河沉积物被带入西南次海盆^[6],显然这一沉积作用与西南缘三角洲进积及南海西边界流有关,导致西南缘湄公河三角洲沉积物带入西南次海盆堆积。

3 深海盆沉积充填演化控制因素

3.1 南海闭合过程与沉积物充填

南海扩张始于渐新世,东部次海盆北部和西北次海盆首先张裂,25—23 Ma 南海扩张脊向南部和西南次海盆跃迁。南海扩张终止与早中新世末的沙巴造山运动密切相关,大洋钻探 IODP 349 航次首次精确测定了东部次海盆和西南次海盆海底扩张的结束时间分别为~15 Ma 和~16 Ma^[9]。显然,南海闭合过程始于早中新世末沙巴造山运动,随后南海东侧的洋洋俯冲和弧陆碰撞促使南海东部洋壳部分俯冲消亡,目前,南海关闭过程仍在持续。不难看出,南海南缘和东缘经历了一系列碰撞挤压事件,从而导致南海经历了从西南-东南-东北的“包饺子式”闭合过程,最后形成现今半封闭型边缘海。

显然,南海扩张和闭合过程直接决定了深海盆沉积物充填。渐新世东部次海盆北部及西北次海盆逐渐开启,主要为火山碎屑角砾岩,仅接受极少量陆源碎屑沉积物,厚度不足 100 m。渐新世末期南海扩张脊跃迁,使得东部次海盆南部和西南次海盆逐渐开启,早中新世接受沉积物,但沉积厚度很薄(<100 m)。IPDP 368-U1501 孔见到大量超微化石软泥,指示碳酸盐岩浊积沉积。中中新世时期,沉积中心主要分布于深海盆北部,中南部仅在微板块边缘局部发育增厚现象。同样,晚中新世时期,沉积中心也主要分布于南海深海盆北部。自上新世以来,西南次海盆西南缘及东部次海盆东北缘沉积厚度明显增厚,这一特征说明南海东缘封闭过程中弧陆碰撞导致来自东侧物源显著增强。

3.2 主要物源体系演化特征

南海独特的古地貌单元决定了源-汇体系特征及沉积物通道系统。现今海底地貌可以看出,从陆架陆坡到深海盆之间发育 3 类地貌样式:第一类是陆架陆坡-海盆型,陆架沉积物可以顺陆坡直接

带入深海盆,以珠江口盆地为代表;第二类是陆架陆坡-海隆-海盆型,陆源碎屑堆积于海隆与陆地之间的坳陷带,极少量碎屑沉积物被带入深海盆,如中建南盆地;第三类为陆架陆坡-海槽-海盆型,由于海槽的隔档,大部分陆源碎屑首先充填于海槽内,仅少量沉积物带入深海盆,如礼乐盆地。南海深海盆现今主要有 6 大沉积物输送通道向深海盆提供沉积物源(图 2),形成了 6 个源-汇沉积区,即东北缘物源形成了高屏-澎湖峡谷-海底扇沉积区、北缘珠江口外峡谷群-海底扇沉积区、西北缘中央峡谷-神狐峡谷群-海底扇沉积区、西缘盆西峡谷-海底扇沉积区、西南缘陆架边缘三角洲-海底扇沉积区和东南缘礼乐斜坡峡谷群-海底扇沉积区。由于南海深海盆从渐新世以来周缘构造作用及古地形地貌演变,主要物源体系演化也发生明显改变。总体来看,具有如下特点:①深海盆早期(渐新世-早中新世)充填以火山碎屑角砾岩及深海泥岩沉积为主,周缘沉积物极少输送到海盆沉积;②深海盆中期(中中新世-晚中新世)充填主要

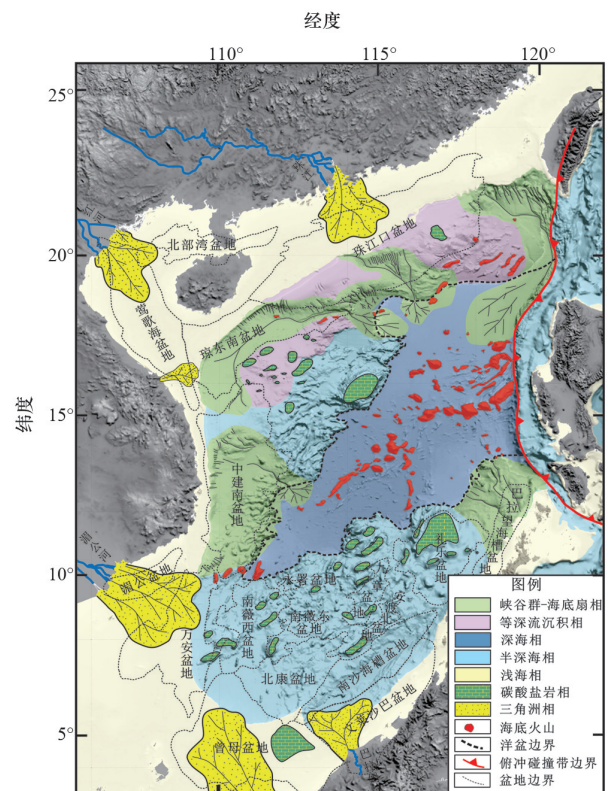


图2 现代南海深海盆周缘地貌环境及主要物源体系

物源来自于西北缘中央峡谷和北缘珠江口外峡谷；③深海盆晚期(上中新世-第四系)充填以东北缘物源体系为主,西南缘物源也有所增强。尽管现今深海盆周缘发育以深水峡谷为特色的6大沉积物输送通道,但绝大部分物源来自于珠江口外峡谷系统和高屏-澎湖峡谷系统。其中,深海盆中晚期大量碎屑物充填既与同期区域构造事件(如青藏高原快速隆升、菲律宾板块俯冲)密切相关,也与东亚季风增强以及物源区强烈的风化剥蚀有关。

4 结论

1) 南海深海盆随着南海二次扩张使得不同海盆充填开始时间及充填厚度有明显差异,一般沉积厚度为600~1200 m。主要沉积中心位于深海盆北部,即西北次海盆和东部次海盆东北部。

2) 深海盆早期(渐新世-早中新世)充填以火山碎屑角砾岩及深海泥岩沉积为主,周缘沉积物极少输送到海盆沉积;深海盆中期(中中新世-晚中新世)充填主要物源来自于西北缘中央峡谷系统和北缘珠江口外峡谷系统;深海盆晚期(上中新世-第四系)充填以北缘、东北缘物源体系为主,西南缘物源也有所增强。

3) 深海盆充填主要沉积物为晚中新世以来的陆源碎屑沉积,这与南海闭合过程中同期区域构造

事件,如青藏高原快速隆升、菲律宾板块俯冲密切相关,丰富陆源碎屑的供给与晚中新世以来东亚季风增强以及源区强烈的风化剥蚀有关。

参考文献(References)

- [1] Wang P X, Huang C Y, Lin J, et al. The South China Sea is not a mini-Atlantic: Plate-edge rifting vs intra-plate rifting[J]. *National Science Review*, 2019, 6(5): 902-913.
- [2] Wang P X, Jian Z M. Exploring the deep South China Sea: Retrospects and prospects[J]. *Science China-Earth Sciences*, 2019, 62(10): 1473-1488.
- [3] Li C F, Lin J, Kulhanek D K, et al. Proceedings of the international ocean discovery program, 349[M]. College Station, TX (International Ocean Discovery Program), 2015, <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.349.2015>.
- [4] 林间, 李家彪, 徐义刚, 等. 南海大洋钻探及海洋地质与地球物理前沿研究新突破[J]. *海洋学报*, 2019, 41(10): 81-95.
- [5] Jian Z M, Larsen H C, Zarikian C A, et al. Expedition 368 preliminary report: South China Sea rifted margin [M]. International Ocean Discovery Program, 2018, <https://doi.org/10.14379/iodp.pr.368.2018>.
- [6] Liu C, Clift P D, Murray R W, et al. Geochemical evidence for initiation of the modern Mekong delta in the southwestern South China Sea after 8 Ma[J]. *Chemical Geology*, 2017, 451: 38-54.

Deposition in the South China Sea deep basin

XIE Xinong¹, ZHU Weilin², LI Xuejie³, YAO Yongjian³, JIANG Tao¹, LIANG Chao¹

1. College of Marine Science and Technology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. State Key Laboratory of Marine Geology, School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China
3. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China

Abstract Based on the data obtained from ocean drilling wells and the seismic profile data, differences and changes in sediment sources of the deep-sea basin in the South China Sea (SCS) during syn- and post- seafloor spreading are determined quantitatively. It is shown that the oceanic basin of the SCS started to be formed as far back as the Oligocene (32Ma), and it extends with two spreading events of the SCS. The basin is mainly filled with volcanic conglomerate and ash, carbonate rock, ultra-microfossil mud, muddy clay, silty clay, mudstone and silt-fine grained sandstone. The main sediments in the deep-sea basins are terrigenous deposits since the Late Miocene (11.6Ma). The supply of plentiful terrigenous deposits is closely related to the regional tectonic events (such as the rapid uplift of the Qinghai-Tibet Plateau and the subduction of the Philippine plate) during the closing process of the SCS, as well as the strengthening of the East Asian monsoon since the Late Miocene and the strong weathering and erosion of the source area.

Keywords oceanic basin of South China Sea; depositional filling of marginal sea; source-to-sink system ●



(责任编辑 祝叶华)