

Analysis on the Characteristics of the Cenozoic Crustal Thinning of South China Sea

Chao He

Marine Geological Institute of Hainan Province, Haikou Hainan
Email: 282370296@163.com

Received: Jul. 30th, 2017; accepted: Aug. 13th, 2017; published: Aug. 21st, 2017

Abstract

The stretching factor β is a parameter which directly reflects the extent of crustal thinning. In order to analyze the characteristics of crustal thinning in the South China Sea, β is calculated by the crustal thinning. Applying the continental crustal model of the global crustal model CRUST 1.0 with the grid of $1^\circ \times 1^\circ$, combined with the water depth data from NGDC and on the assumption that the crustal thickness is 32 km, the distribution of β in the South China Sea is analyzed. The results of β are between 1 and 4.2; the maximum is obtained in the vicinity of the Gemini reefs in the southern South China Sea, and the minimum is distributed in the Beibu Gulf shelf. The distribution of β indicates that the degree of thinning in the southern part of the South China Sea is gradually enhanced near the basin, and the northern part is gradually strengthened from the shelf to the basin. Overall, the degree of thinning in the northern part of the South China Sea is greater than that in the south.

Keywords

Crustal Thinning, The Stretching Factor β , South China Sea, Conjugate Continental Margin

南海新生代地壳减薄特征分析

贺 超

海南省海洋地质调查研究院, 海南 海口
Email: 282370296@163.com

收稿日期: 2017年7月30日; 录用日期: 2017年8月13日; 发布日期: 2017年8月21日

摘要

拉伸因子 β 是直接反映地壳减薄程度的参数。为了分析南海新生代以来地壳减薄特征,对比南、北部的差异性演化,利用网格密度为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 全球地壳模型CRUST 1.0提供的南海地壳厚度数据,结合NGDC提供的水深数据,在假设南海拉伸前的地壳厚度为32 km的基础上,通过地壳减薄量计算了拉伸因子 β ,并绘制了南海拉伸因子分布图。拉伸因子计算结果介于1~4.2之间,其中最大值在南海南部的双子群礁附近取得,最小值分布在北部湾陆架。拉伸因子 β 的分布规律表明南海南部减薄程度靠近海盆突然增强,北部则是由陆架至海盆逐渐加强;总体而言,南海北部减薄程度大于南部减薄程度,西部减薄程度最低。

关键词

地壳减薄, 拉伸因子 β , 南海, 共轭大陆边缘

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

南海是西太平洋最大的边缘海,构造上处于欧亚、太平洋和印度三大板块相互作用形成的太平洋构造域和特提斯构造域的交汇处。由于不同的构造位置和边界条件的差异[1],导致南海北部为拉张陆缘,南部为挤压陆缘,西部为张剪陆缘;东部则是俯冲消减陆缘,具有较强的活动性,地震活动强烈,火山作用活跃,地壳上升幅度较大[2]。针对南海的扩张模型,存在不同的见解:Hayes等(1995) [3]认为南海北部穿透断层是早期简单剪切的结果;周蒂等(1996) [4]通过南、北大陆边缘新生代张性构造的研究,认为是简单剪切模型;刘海龄等(1998) [5]从南沙地块北缘断裂发育特征出发,认为早期为纯剪切,晚期东段变为简单剪切,西段扩张停止。

目前,对大陆伸展变形的认识主要停留在两个端元模型,即纯剪模型[6]和单剪模型[7]。纯剪模式假设盆地地壳伸展作用是瞬时的,伸展作用是对称,形成两侧对称构造的发育;而单剪模式则认为是一个贯穿岩石圈的低角度正断层实现的,是非对称的伸展状态[8]。在对伸展模式的判断中,拉伸因子 β 起到一定作用。理论上,纯剪模式中,拉伸因子 β 沿主应变轴两侧呈对称趋势;单剪模式则不存在上述规律。本文基于前人的研究理论,计算了整个南海的拉伸因子 β ,对比分析了新生代以来南海南、北两侧共轭大陆边缘的拉伸因子 β 分布特征,探讨了南海地壳减薄特征。

2. 地形地貌特征

南海水深变化大,最大值超过5000 m。如图1所示,南海大陆架南北部相对宽缓,陆架宽度300~700 km,地形平缓,隆起少,水深变化稳定、一般不超过250 m;东西部窄陡,属侵蚀-堆积型陆架,多受断裂控制,呈SN向长带状分布,宽度几公里至几十公里,坡度不大;南海大陆坡为大陆架向海延伸至深海边界的斜坡区域,水深范围约200~4000 m之间,东部相对狭窄;南海中央深海盆亦为扁菱形,地势西北微高于东南,至马尼拉海沟急剧变深[2] [9]。

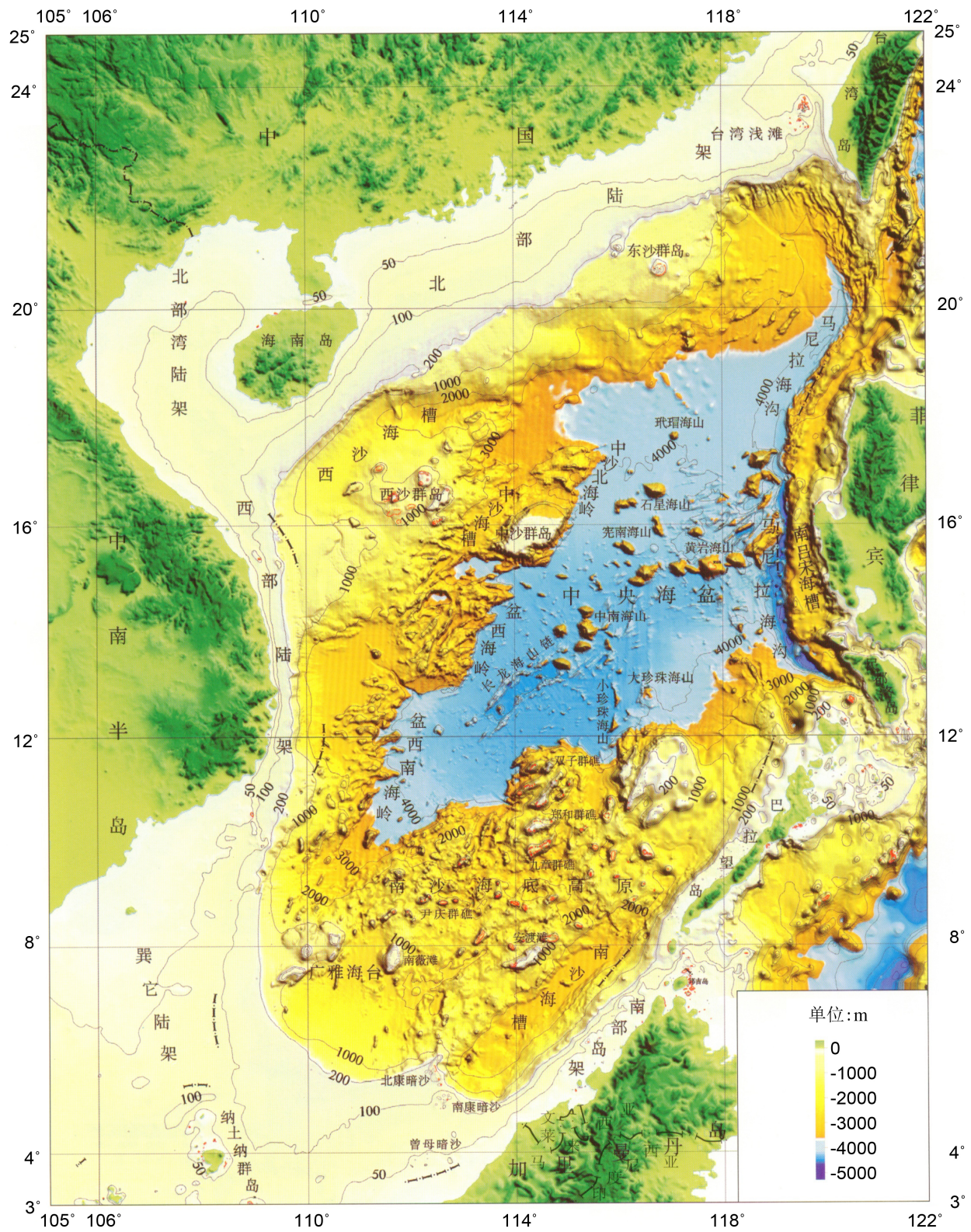


Figure 1. Bathymetry map of South China Sea [9]
图 1. 南海地形图[9]

3. 地壳厚度分布

本文利用网格密度为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 全球地壳模型 CRUST 1.0 [10]，提取了范围为 $4.5^{\circ}\text{N}\sim 24.5^{\circ}\text{N}$ ， $105.5^{\circ}\text{E}\sim 121.5^{\circ}\text{E}$ 内的地壳厚度数据，成图后如图 2 所示。其中，水深数据则来源于世界地球物理数据中心(National Geophysical Data Center, NGDC) [11]。

如图 2 所示，南海及其周边陆缘地壳厚度介于 $6.85\sim 41.45\text{ km}$ 之间，地壳类型齐全，其中大陆架的地壳厚度约 $28\sim 30\text{ km}$ ，为大陆型地壳；大陆坡地壳厚度约 $18\sim 26\text{ km}$ ，为过渡型地壳；中央海盆的地壳厚度

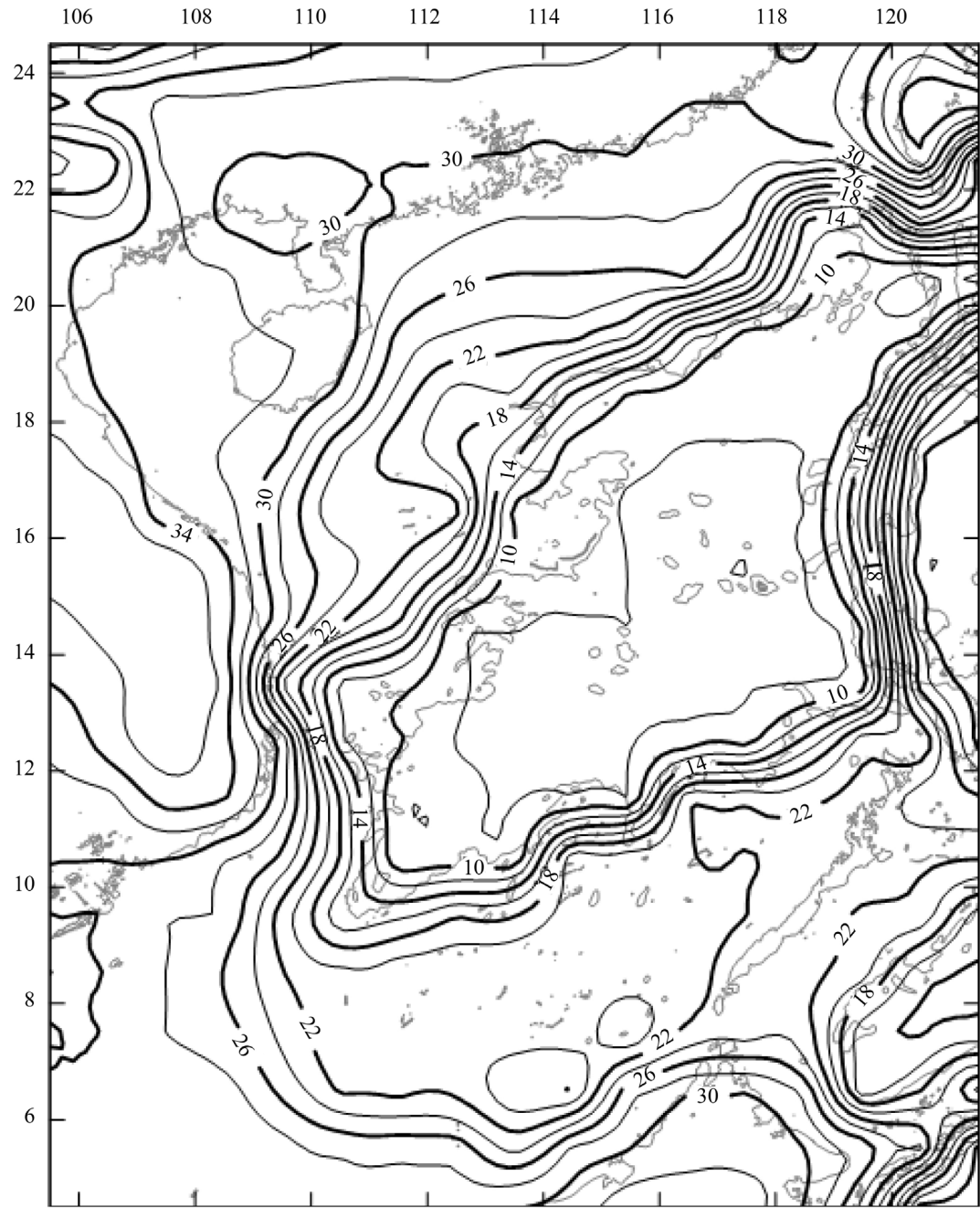


Figure 2. Distribution of crust thickness in South China Sea
图 2. 南海地壳厚度分布图

多为 8~10 km，为大洋型地壳，同时有陆壳残留其中，从侧面反映出南海形成演化的多期性和复杂性。除华南西南部外，同 Moho 深度变化与水深变化的关系[12]，南海地壳厚度分布和水深变化两者之间有很好的耦合关系，均表明深部地壳结构对浅层地形具有控制作用。

4. 拉伸因子 β 的计算

拉伸因子 β ，伸展前后的地壳厚度之比，是定量描述岩石圈纯剪变薄程度的参数(Mckenzie, 1978)。 β 值越大，表明地壳减薄程度越显著。

目前，计算拉伸因子 β 的方法主要有：① 沉降史分析。利用钻井、地震剖面资料，进行古水深校正、压实校正、海平面校正和沉积物重力均衡校正后，求得构造沉降量，通过构造沉降量反演拉伸因子 β 。该方法是目前计算拉伸因子 β 最常用的方法；② 从地壳减薄的角度，直接通过地壳厚度计算拉伸因子 β ，即，初始地壳厚度比减薄后地壳厚度。该方法普遍运用于缺乏钻井数据的深水区。在实际操作中，初始地壳厚度为估算，拉伸后地壳厚度为重磁数据或者深部地震资料反演得出的 Moho 面深度减去新生代沉积层厚度；③ “多米诺”式伸展断层模式(Domino-style Fault Block Model)，即，旋转平面式断层模式。在深度剖面上测量出断层倾角和地层倾角，利用三角形边角关系计算求得拉伸因子 β ；④ 统计地震剖面上断层水平伸展量。测量断层位置、水平间距、倾角和倾向等几何参数，先求取单个断层的拉伸因子，再将所有断层在某点的拉伸因子相乘求得该点拉伸因子 β 。受地震剖面分辨率的限制导致结果普遍偏小 35%~40% [13]。这些方法各有优缺点，如第一种方法涉及古水深估算、古海平面变化以及去压实等，并且要求正、反演结合，计算复杂，影响因素较多，存在不少不确定性；第二种方法在软流圈发生熔融产生底侵作用的地区或者初始地壳厚度难以估算的地区，容易产生误差。此外，重磁反演得到的 Moho 面、沉积基底埋深误差大，深部地震资料则是数据相对较少，存在大量空白区；第三种方法与第四种方法要求地震剖面质量高，地层层序清晰，正断层简单。

本文根据公式(1)，直接用地壳厚度求得拉伸因子 β ，其中， t_0 (Initial Crustal Thickness)为伸展前地壳厚度(或初始地壳厚度)； t_c 为伸展后地壳厚度(或现今地壳厚度)。该方法多运用于针对整个研究区大面积初步计算。本文的计算中， t_0 参考前人资料[14] [15] [16]，将华南地块视为南海未拉伸时状态，取其地壳厚度(30~35 km 之间)的平均值 32 km 作为初始地壳厚度； t_c 直接采用全球地壳模型 CRUST 1.0 于 2014 年 8 月更新的数据。

$$\beta = t_0 / t_c \quad (1)$$

计算结果如图 3 所示，拉伸因子 β 的分布介于 1~4.2 之间。结合水深数据，并参考图 1 所标注的地理位置，最大值位于南海南部的双子群礁附近，而北部最大值在盆西海岭附近取得；南海西部，特别是北部湾陆架，减薄不明显(巽它陆架缺少地壳厚度数据)。

南海南部大陆坡拉伸因子 β 在 1.4~1.6 之间分布，减薄程度维持不变，直至靠近海盆处迅速减薄，拉伸因子 β 从 1.6 增至 3.4。

南海北部拉伸因子 β 逐渐由 1.2 增加到 3.8，表明其减薄程度由陆架至海盆逐渐加强，其中盆西海岭和中沙北海岭区域减薄程度最大。尽管拉伸因子 β 最大值分布于南海南部，但就总体而言，南海北部的减薄程度高于南部。

5. 初步认识

通过对南海的拉伸因子 β 计算，得出：

1) 南海拉伸因子 β 分布于 1~4.2 之间，最大值在南海南部的双子群礁附近取得，最小值分布在北部湾陆架；

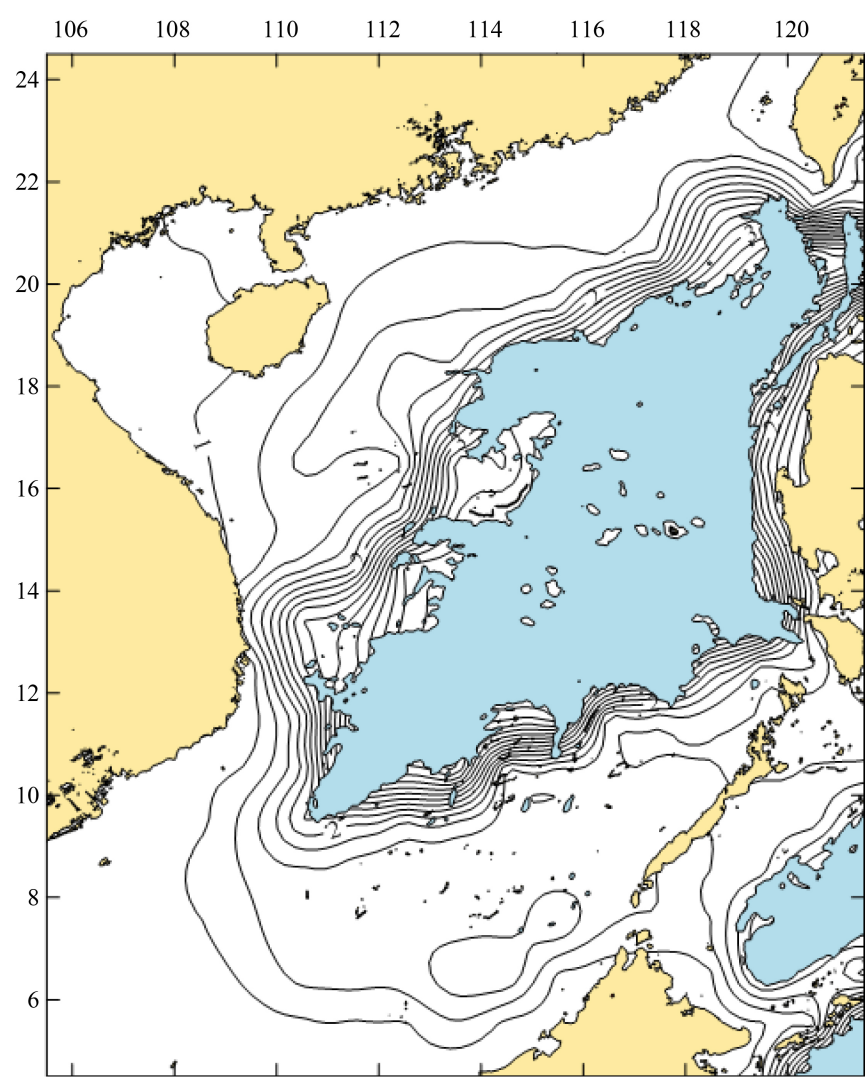


Figure 3. Distribution of β in South China Sea
图 3. 南海拉伸因子分布图

- 2) 南海南部减薄程度靠近海盆处突然增强；北部则是由陆架至海盆逐渐加强；
- 3) 总体而言，南海北部减薄程度大于南部减薄程度，西部减薄程度最低。

以上结论只是初步的、初略的计算面上结果，还需要精细的海底地震仪探测(Ocean Bottom Hydrophone, OBH)/(Ocean Bottom Seismometer, OBS)等线上数据加以验证。

致 谢

本文得到三名匿名专家的帮助和指导，深表感谢！

参考文献 (References)

[1] 解习农, 张成, 任建业, 等. 南海南北大陆边缘盆地构造演化差异性对油气成藏条件控制[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3280-3291.

[2] 刘昭蜀, 赵焕庭, 范时清, 等. 南海地质[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[3] Hayes, D.E., Nissen, S.S., Buhl, P., *et al.* (1995) Through Going Crustal Faults along the Northern Margin of South

- China Sea and Their Role in Crustal Extension. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **100**, 22435-22446. <https://doi.org/10.1029/95JB01867>
- [4] Zhou, D., Ru, K. and Chen, H.Z. (1995) Kinematics of Cenozoic Extension on the South China Sea Continental Margin and Its Implications for the Tectonic Evolution of the Region. *Tectonophysics*, **251**, 161-177. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(95\)00018-6](https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00018-6)
- [5] 刘海龄, 杨树康, 周蒂, 等. 南沙北部伸展构造的基本特征及其动力学意义[J]. 高校地质学报, 1998, 4(1): 64-72.
- [6] Mckenzie, D. (1978) Some Remarks on the Development of Sedimentary Basins. *Earth and Planetary Science Letters*, **40**, 25-32. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(78\)90071-7](https://doi.org/10.1016/0012-821X(78)90071-7)
- [7] Wernicke, B. and Burchfiel, B.C. (1982) Modes of Extensional Tectonics. *Journal of Structural Geology*, **4**, 105-115. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(82\)90021-9](https://doi.org/10.1016/0191-8141(82)90021-9)
- [8] 李思田, 解习农, 王华, 等. 沉积盆地分析基础与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [9] 陈洁, 温宁. 南海地球物理图集[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [10] Laske, G., Masters, G., Ma, Z. and Pasyanos, M. (2013) Update on CRUST1.0 - A 1-degree Global Model of Earth's Crust. *Geophysical Research Abstracts*, **15**, Abstract EGU2013-2658.
- [11] Amante, C. and Eakins, B.W. (2009) ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA.
- [12] 夏少红, 丘学林, 赵明辉, 等. 南海共轭大陆边缘地壳结构及其类型特征[J]. 地球科学, 2011, 36(5): 877-885.
- [13] Walsh, J., Watterson, J. and Yielding, G. (1991) The Importance of Small-Scale Faulting in Regional Extension. *Nature*, **351**, 391-393. <https://doi.org/10.1038/351391a0>
- [14] 姚伯初, 万玲, 吴能友. 南海新生代构造演化及岩石圈三维结构特征[J]. 地质通报, 2005, 24(1): 1-8.
- [15] 徐辉龙, 丘学林, 赵明辉. 南海东北部南澳大地震(7.5)震中区的地壳结构特征与震源构造[J]. 科学通报, 2006(B11): 83-91.
- [16] 张云帆, 孙珍, 周蒂, 等. 南海北部陆缘新生代地壳减薄特征及其动力学意义[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(12): 1609-1616.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网覆盖推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org