

华南东部晚中生代岩石圈减薄机制的研究综述

王芋霖

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2025年5月19日; 录用日期: 2025年6月20日; 发布日期: 2025年6月30日

摘要

中国东部在中生代晚期经历了显著的岩石圈减薄过程, 这一地质事件与区域广泛发育的强烈岩浆活动表现出明显的时空耦合性。值得注意的是, 该区域的岩石圈减薄程度呈现明显的空间分异特征, 表现为自西向东逐渐加剧的变化趋势。关于华南岩石圈减薄机制尚存诸多争议, 所涉及理论包括拆沉作用、古太平洋板块俯冲作用以及地幔柱构造等。因此, 加强对研究岩石圈板块演化的时间、机制具有重要意义。基于前人研究成果, 文章系统综述了华南地区中生代岩石圈减薄的时代背景、动力学机制的研究现状。

关键词

岩石圈减薄, 中生代, 华南板块

A Review on the Mechanisms of Lithospheric Thinning in Eastern South China during the Late Mesozoic

Yulin Wang

College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: May 19th, 2025; accepted: Jun. 20th, 2025; published: Jun. 30th, 2025

Abstract

The eastern China region underwent significant lithospheric thinning during the late Mesozoic, a geological event that exhibits clear spatiotemporal correlation with the widespread and intense magmatic activity in the area. Notably, the degree of lithospheric thinning in this region displays distinct spatial heterogeneity, characterized by an eastward-increasing trend. The mechanisms behind lithospheric thinning in South China remain highly debated, with proposed theories including delamination, subduction of the Paleo-Pacific Plate, and mantle plume tectonics. Therefore, it is of

great significance to further investigate the timing and mechanisms of lithospheric plate evolution. Based on previous research, this paper systematically reviews the temporal framework and current understanding of the dynamic mechanisms of Mesozoic lithospheric thinning in South China.

Keywords

Lithospheric Thinning, Mesozoic, SCB

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

新生大陆地壳通过幔源岩浆的侵位而形成。大陆地壳的循环是通过沉积物在俯冲带再循环或者大陆根部的拆沉进入地幔。大陆地壳的再造发生在地壳内部，包括原有地壳的部分熔融、剥蚀沉积等。大陆地壳的生长是指新生的地壳体积大于再循环的体积，所以通过对陆壳中的花岗岩化学成分演化的分析，有助于人们理解陆壳的演化和相关的地质事件。华夏地块是欧亚板块与太平洋板块相互作用的中心地带，是环太平洋构造带的重要组成部分，因为强烈的岩浆活动和岩浆混合，也是研究大陆地壳生长与改造的关键地区。在岩浆上升和置换过程中，板块衍生流体和熔体的参与会显著改变地幔源，从而形成具有不同矿物成分和地球化学特征的多种岩浆岩类型[1] [2] [3]。此外，岩浆作用过程为岩石圈演化、地壳熔融和深部地质活动提供了宝贵的见解[4] [5]。然而，关于晚中生代的大陆地壳生长机制和过程，一直存在着争议。华夏地块复杂多样的A型花岗岩为古太平洋板块俯冲相关的岩石成因模型提供了重要的约束条件[6]-[9]。因此，对这些A型花岗岩的研究为评估中生代古太平洋板块不同阶段的俯冲对上覆地壳演化的影响提供了机会。

花岗岩是大陆地壳的主要组成部分，它们的形成在很大程度上刺激了大陆的生长[10]。同时，作为大陆地壳必不可少的重要组分，与低硅玄武质大洋地壳有所不同，其能解释大陆地壳如何形成、分异、再造等问题以及蕴含了壳—幔相互作用的精确信息[11]。中国东南部的大量长英质火成岩为了解区域构造和地球动力学过程以及俯冲带大陆地壳的生长和再加工提供了重要线索。

2. 华南东部晚中生代地质背景

华南地区广泛分布多条中生代岩浆岩相关断裂，其中区域性深大断裂以江山-绍兴断裂、政和-大埔断裂和长乐-南澳断裂最为重要(图1)。这些断裂系统对区域岩浆活动和成矿作用具有重要控制作用。江山-绍兴断裂作为华南重要的构造边界，被认为是新元古代将扬子地块与华夏地块的碰撞缝合带[12]。政和-大埔断裂呈NE 30°走向展布[13]，主要发育中生代花岗岩及沉积-火山岩系，尤其在东南沿海地区以晚中生代钙碱性I型花岗岩和火山岩为特征；而长乐-南澳断裂则位于东南沿海构造带边缘，广泛出露角闪岩相变质岩[14]。

华南东部主要构造单元分别为扬子板块东南缘、华夏板块和东南沿海岩浆带，在扬子板块东南缘，其前寒武纪基底广泛出露，受晋宁期、加里东期构造运动强烈改造；华夏地块以早古生代变质岩和花岗岩为主，与扬子板块通过“钦杭结合带”拼合；东南沿海岩浆带：中生代太平洋板块俯冲形成的陆缘活动带，发育大规模断裂和火山岩。早中生代印支期造山旋回可分为两个阶段：早-中三叠世以强烈挤压造山为主，区域性地壳抬升，而晚三叠世则表现为伸展作用，在这一过程中，基底岩石发生显著的韧性

剪切变形，而上覆盖层则发育大规模褶皱构造；晚三叠世区域构造环境转为伸展体制，诱发以A型花岗岩侵位为代表的岩浆活动[15]，而晚中生代华南板块则主要受古太平洋板块俯冲影响，构造体制由特提斯构造域向西太平洋构造域转换[16]。从中侏罗世起，伴随持续的俯冲作用，华南地块进入伸展阶段，晚侏罗世至早白垩世期间发育了NE-NNE向展布的大规模断陷盆地和穹隆构造。

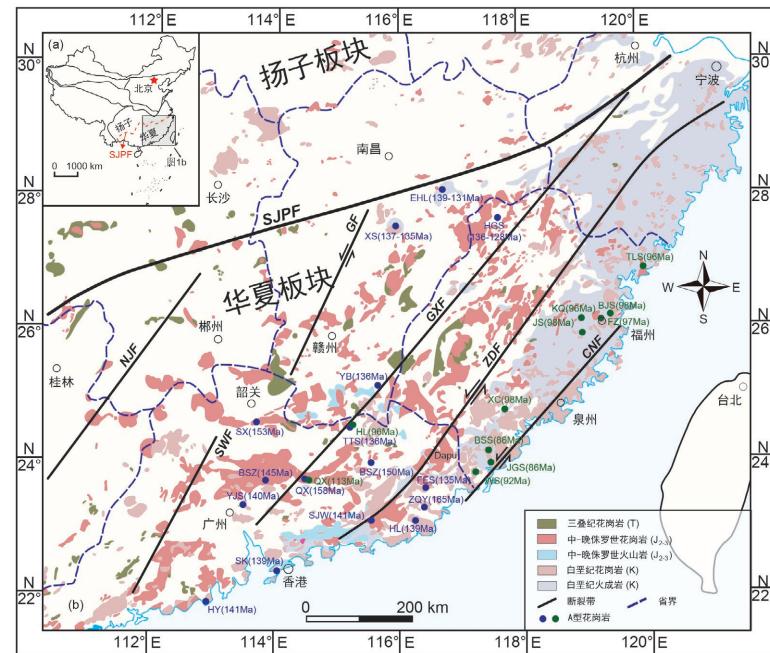


Figure 1. (a)Sketchy tectonic map of China; (b) Geological map of Mesozoic granitic and volcanic rocks, and tectonic features in South China

图 1.(a) 华南板块大地构造简图；(b) 华南中生代花岗岩与火山岩地质图及构造特征

Table 1. Statistical table of A-type granite ages in southeastern China

表 1. 华南东部 A 型花岗岩年龄统计表

参考文献	岩体或杂岩体	岩石类型	年龄(Ma)
[17]	钟丘洋(ZQY)	流纹质凝灰岩	165
[18]	三角窝(SJW)	花岗斑岩	141
[19]	鹅湖岭(EHL)	火山岩	139~131
[20]	香山(XS)	火山侵入杂岩	137~135
[21]	黄冈山(HGS)	火山侵入杂岩	136~128
[22]	岩背(YB)	花岗斑岩	138
[23]	天堂山(TTS)	花岗岩	136
[24]	飞鹅山(FES)	黑云母花岗岩	135
	新村(XC)	碱长花岗岩	98
	笔架山(BJS)	碱长花岗岩	98
[25]	吉山(JS)	斑岩	98
	魁岐(KQ)	钠铁闪石花岗岩	97
	福州(FZ)	斑岩	97

续表

[26]	太姥山(TLS)	钾长花岗岩	96
	吴山(WS)	碱长花岗岩	92
[9]	金刚山(JGS)	碱长花岗岩	86
	白石山(BSS)	碱长花岗岩	86
[23]	回龙(HL)	花岗岩	96

新元古代早期岩浆活动主要分布于扬子地块东南缘(江南造山带)的变质火山沉积岩 - 弱变质岩组合和西北缘(攀西 - 汉南造山带)的变质火山岩 - 侵入杂岩组合, 同时在华夏地块广东东南部发育同期流纹岩。目前学术界普遍认为, 扬子地块和华夏地块在 1.1 Ga~0.9 Ga 期间发生碰撞拼合, 形成了江南造山带, 这一事件与 Rodinia 超大陆的聚合过程密切相关[12]。华南地区加里东期岩浆活动以 S 型花岗岩为主, 幔源组分相对缺乏, 但粤北地区发现的志留纪玄武岩[27]及后续鉴定的苏长辉长岩和辉长岩[28]证实了早古生代幔源岩浆活动的存在。至晚中生代, 岩浆活动显著增强, 形成双峰式火山岩、I 型与 A 型花岗岩及少量碱性岩组合。晚侏罗世—早白垩世尤为发育由 A 型花岗岩、I 型花岗岩、流纹岩及少量玄武岩构成的 NE 向火山 - 侵入岩带[33], 并呈现由内陆向大洋方向逐渐年轻化的时空演化特征。

该地区火成岩的主要特征包括: 1) 以中侏罗世至晚侏罗世和早白垩世的长英质侵入岩为主, A 型花岗岩总体分布具有内陆至沿海、SW 至 NE 向逐渐年轻化趋势[29] [30], 共生火山 - 次火山岩沿区域断层或在裂谷盆地内出现[24] (表 1); 2) 浅层的、钙碱性的、I 型或高度分异的 I 型花岗岩, 通常与钨锡多金属矿床有关[3]; 以及(3)基性岩浆岩表现出混合地球化学特征, 反映了俯冲带复杂的壳幔相互作用[8] [31]。

2.1. 花岗岩类和火山岩的分布

华南东部(主要包括华南板块的扬子地块和华夏地块)是东亚中生代岩浆活动最强烈的地区之一, 广泛发育侏罗纪至白垩纪的花岗岩类和火山岩。这些岩浆岩的时空分布、地球化学特征及成因机制, 长期以来被认为是研究古太平洋板块俯冲及欧亚大陆边缘构造演化的重要窗口。中生代花岗岩类岩浆活动可划分为两个阶段: 早中生代(印支期)与晚中生代(燕山期), 其中早中生代岩浆岩在空间分布上相对局限, 而晚中生代岩浆岩则表现出更为广泛的分布特征。从发育规模来看, 燕山早期(侏罗世)花岗岩分布面积最广; 但在东南沿海地区, 则以白垩世花岗岩的产出更为显著。

2.2. 岩浆作用

华南板块中生代构造 - 岩浆演化分别受控于古太平洋板块(伊泽奈崎板块)NW 向俯冲以及特提斯构造域陆 - 陆碰撞, 产生一系列强烈的构造 - 岩浆响应, 形成了以花岗岩为主(少量中 - 基性岩)的大规模岩浆岩带, 出露面积超过 1300 km² [29] [32]。尽管华南中生代岩浆岩已得到广泛研究, 但其成因机制与时空演化仍存在若干关键科学问题亟待解决, 如沿海岩浆岩年轻化趋势的精确时限, 古太平洋俯冲与特提斯碰撞的耦合效应等, 利用高精度年代学和原位微区分析技术(如锆石 Hf-O 同位素)可建立更精确的岩浆活动时空格架。

2.3. 构造背景

中国东南部构造上由华夏地块和江南造山带组成。自中新元古代华夏地块和扬子地块沿着江南造山带合并后, 华夏地块处于稳定的大陆边缘环境, 没有(残留)海洋发育[33]。其在中生代先后经历了中 - 晚三叠世的印支运动和侏罗 - 白垩纪的燕山运动两期重大构造事件[29], 是中国东部大陆构造格局形成的

关键控制因素。研究证实该区域先后经历了印支期(中 - 晚三叠世)挤压造山和燕山期(侏罗 - 白垩纪)伸展改造两大构造阶段, 其中燕山期由挤压向伸展的构造转换虽已达成共识, 但关于伸展启动时限、构造环境转变过程及其动力学机制仍存在诸多争议。基于华南地区系统的构造 - 岩浆 - 沉积记录研究, 目前主要形成三类代表性观点: 1) 太平洋板块俯冲诱发的弧后扩张机制[16][32], 该观点得到周新民[15]研究的支持, 其发现燕山早期快速拉张形成板内伸展造山, 晚期转为慢速扩张呈现岛弧型伸展特征; 2) 岩石圈主动拉张减薄模型[34][35], 认为燕山期持续伸展形成陆内裂谷, 但舒良树[14]否认存在地幔柱活动的证据; 3) 多因素协同作用的复合机制[36][37], 提出“多向汇聚”三阶段演化模式(挤压 - 伸展 - 弱挤压), 而 Chen *et al.* [38]则主张印支期后持续拉张。

3. 岩石圈减薄的机制

对于华南岩石圈减薄机制的分析长期以来存在着争议, 其中占主导地位的几种机制有: 拆沉作用、太平洋板块俯冲作用和地幔柱。

3.1. 拆沉作用

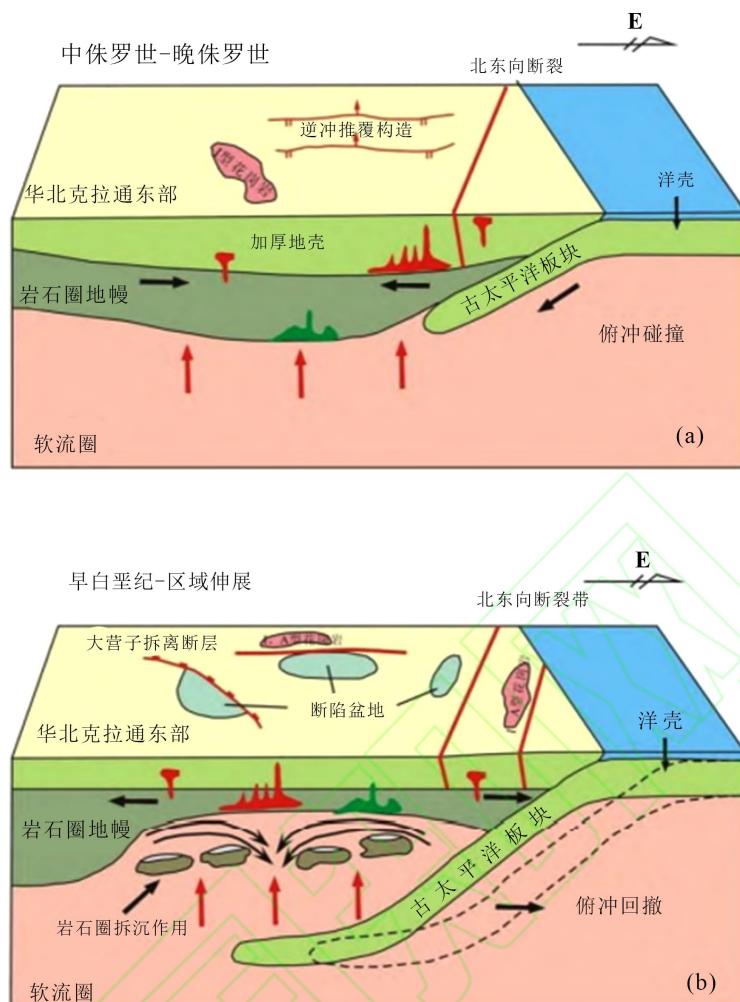


Figure 2. Eastern North China Craton (NCC) Mesozoic tectonic evolution model (Middle Jurassic-Early Cretaceous) [39]

图 2. 华北克拉通东部中侏罗世 - 早白垩世构造演化模式图[39]

当底部地壳以及岩石圈拆离，向下沉入软流圈地幔中，引发大规模的软流圈的上涌，软流圈上涌会产生减压熔融产生玄武质岩浆，同时加热下地壳，使其部分熔融，产生花岗质岩浆。岩浆上涌，一方面引发火山作用，另一方面会使地壳隆升，形成高原和山脉。结果是造成山脉的重力势能急剧增加，发生流动，最终岩石圈伸展减薄、造山带垮塌和盆地形成，从而构成一个完整的由山脉至盆地的发展链。扬子地块与华夏地块在海西-印支期碰撞形成巨厚的岩石圈，而后燕山期岩石圈底部发生拆沉，地幔软流圈物质上涌，造成岩石圈伸展减薄。

以华北克拉通为例，中晚侏罗世，古太平洋板块向华北克拉通东部持续俯冲，地壳处于加厚阶段，辽宁地区形成一系列与俯冲活动陆缘背景有关的 I 型花岗质岩石和区域内平行于俯冲带方向的构造行迹(图 2(a))在岩石圈伸展早期阶段(139~130 Ma)(图 2(b))，古太平洋俯冲板块发生回撤，岩石圈微弱减薄，弥散状拆离断层构造发育，辽宁变质核杂岩下盘开始缓慢剥露，断陷盆地内火山作用强烈[40][41]。在岩石圈伸展作用主期阶段(130~115 Ma)，由于古太平洋板块的持续回撤并伴随强烈区域伸展作用，岩石圈巨量减薄，大量的断陷盆地沿断裂带形成，同时伸展作用也导致了下部地壳发生减压熔融，并且这种减压熔融一直向下延伸至岩石圈地幔，最终使得软流圈地幔的局部上涌[39]。

3.2. 古太平洋板块俯冲作用

古太平洋板块俯冲，地幔楔的熔融和玄武质岩浆的底侵以及由俯冲引起的深度走滑剪切和扭张作用是导致岩石圈伸展减薄的动力[42]。蒋海等[43]研究了广东北部梅子窝煌斑岩，形成于早白垩世(约 136 Ma)。并将此与之前报道的广东东部约 154 Ma 的镁铁质岩脉和湖南南部及附近地区约 165~155 Ma 的 A 型花岗岩进行对比。发现煌斑岩主要来源于软流圈，为洋岛型玄武岩(OIB)地球化学特征。相比之下，A 型花岗岩显示出弧形特征和非放射性 Nd，中等放射性 Pb 同位素，表明岩浆源自岩石圈地幔。因此，从岩石圈到软流圈源的变化可能是由于与古太平洋板块的回滚和撕裂相关的岩石圈逐渐伸展和变薄所致。梅子窝煌斑岩在与板块后退相关的弧后伸展环境中形成。板块回滚模型与各种地质证据一致，包括从约 140 Ma 开始的众多 NE 向盆地和伸展穹隆，约 135~125 Ma A 型花岗岩的出现以及 160 Ma 后岩浆作用从内陆向沿海地区的海洋迁移[44]。在这种情况下，由于地幔楔中的吸力，弧后地幔的角部流动增强，从而可以填充由板块回滚产生的空间。同时，板块撕裂可能是由于俯冲板块的逐渐变陡和回滚而发生的，为软流圈地幔的上流提供了通道。一旦岩石圈变得足够薄(<65~80 km)，对流软流圈连同少量辉石将上升至浅层，并经历减压熔融，生成 OIB 类岩浆(图 3)。上升软流圈引起的热量和熔融通量将进一步促进岩石圈的伸展和变薄[45]。同位素和地球化学证据表明，基-中酸性复合岩体是由新元古代至中元古代地壳岩石部分熔融形成的，地幔衍生物质对其有不同程度的影响[46]。地球物理勘测以及下地壳捕捞体数据表明，白垩纪中国东南部古老下地壳因年轻岩浆底侵而发生变化[29]。含水玄武岩浆底侵被证实为诱导古下地壳岩石的部分熔融提供了必要的热量，从而在更深的地壳层面产生了长英质岩浆[6][47]。

3.3. 地幔柱构造

这种机制认为，华南中生代岩石圈伸展，大规模岩浆活动和成矿作用与地幔柱构造有关。稳定的克拉通在地幔柱的作用下岩石圈会发生强烈的改造，伴随地表岩浆活动和克拉通岩石圈的减薄和弱化。热地幔柱的上升引发了一系列重要的构造变革，主要表现为：1) 促使岩石圈发生显著减薄；2) 导致超级大陆的裂解；3) 推动大陆岩石圈构造体制向大洋岩石圈构造体制的转变。这一动力学过程在地质记录中表现为多种伸展构造环境的发育，包括热点活动、超级大陆裂解带、大陆裂谷系统、大洋扩张中心、伸展盆地、变质核杂岩以及剥离断层等，共同构成了完整的张性-伸展构造体系。这些地质现象在时空分布上具有明显的耦合性，反映了地幔柱活动对岩石圈构造演化的深刻影响。

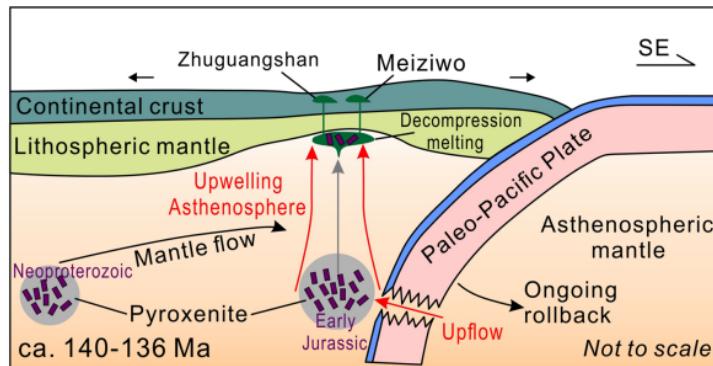


Figure 3. Schematic diagram of petrogenesis for the early cretaceous Meiziwo lamprophyre (Black short arrows indicate lithospheric extension) [45]

图3. 早白垩世梅子窝煌斑岩的岩石成因示意图(黑色短箭头表示岩石圈伸展) [45]

支持这一认识的主要证据包括以下方面：1) 地质与地球化学证据：区内发育典型的巨型环状构造，如戴云山环状火山构造；岩浆岩具有显著的幔源或深源特征及壳幔混合作用标志，例如广泛分布的A型花岗岩、花岗岩中赋存的玄武岩包体等。2) 地球物理证据：华南地区的莫霍面等深线、重力异常分布、地震S波速度结构及剪切波速结构等地球物理资料，均一致揭示该区可能存在地幔柱构造的深部响应[46]。

然而，华南东部是中国东部岩石圈减薄的典型区域，其减薄过程并非单一动力学机制所致，更有可能为拆沉作用、板块俯冲、地幔柱活动等多种因素协同作用的结果[48]。华南东部在中生代经历了强烈的构造-岩浆活动，可能由于古太平洋板块俯冲导致岩石圈地幔富集、密度增大，最终发生重力不稳定性而拆沉[42]。其中，由于俯冲板块的脱水作用可能降低上覆岩石圈地幔的密度，进一步诱发拆沉。同时，华南东部晚中生代的大规模玄武岩喷发和高温岩浆活动，可能暗示地幔柱的参与[35]。地幔柱上涌可提供热源，弱化岩石圈，促进拆沉。因而，华南东部岩石圈减薄应该是多尺度、多机制耦合的产物，需要更高精度的年代学以及地球化学数据约束，进而量化不同机制(拆沉、俯冲、地幔柱)的贡献。

4. 结论

本文对华南地区中生代岩石圈减薄机制进行了总结，得到以下初步认识：

- 1) 华南地区经历了多期次的物质上涌事件，其岩石圈伸展减薄过程并非单一事件，而是呈现明显的幕式演化特征。这种间歇性的构造-岩浆活动导致华南发育了多期代表岩石圈拉张环境的岩浆岩组合，包括碱性玄武岩、碱性正长岩、A型花岗岩以及基性岩脉等，这些岩石类型在时空上构成了完整的伸展构造岩浆序列。
- 2) 华南中生代中期经历了后造山伸展作用，在华夏板块内部形成了基性火成岩和大量同时期的A型花岗岩。中生代中-晚期以来，由于俯冲到华南板块之下大洋板块发生前进、断裂和回撤，引发了地壳增厚、局部伸展和岩石圈大规模减薄。
- 3) 华南东部减薄过程并非单一动力学机制所致，更有可能为拆沉作用、板块俯冲、地幔柱活动等多种因素协同作用的结果。

参考文献

- [1] Gao, Y., Mao, J., Ye, H. and Li, Y. (2018) Origins of Ore-Forming Fluid and Material of the Quartz-vein Type Mo Deposits in the East Qinling-Dabie Molybdenum Belt: A Case Study of the Qianfanling Mo Deposit. *Journal of Geochemical Exploration*, **185**, 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.11.005>

- [2] Richter, L. and Diamond, L.W. (2022) Characterization of Hydrothermal Fluids That Alter the Upper Oceanic Crust to Spilite and Epidote: Fluid Inclusion Evidence from the Semail (Oman) and Troodos (Cyprus) Ophiolites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **319**, 220-253. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.11.012>
- [3] Zhou, Z., Ma, C., Wang, L., Chen, S., Xie, C., Li, Y., et al. (2018) A Source-Depleted Early Jurassic Granitic Pluton from South China: Implication to the Mesozoic Juvenile Accretion of the South China Crust. *Lithos*, **300**, 278-290. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.11.017>
- [4] Kusky, T. and Wang, L. (2022) Growth of Continental Crust in Intra-Oceanic and Continental-Margin Arc Systems: Analogs for Archean Systems. *Science China Earth Sciences*, **65**, 1615-1645. <https://doi.org/10.1007/s11430-021-9964-1>
- [5] Lee, C.A., Luffi, P., Plank, T., Dalton, H. and Leeman, W.P. (2009) Constraints on the Depths and Temperatures of Basaltic Magma Generation on Earth and Other Terrestrial Planets Using New Thermobarometers for Mafic Magmas. *Earth and Planetary Science Letters*, **279**, 20-33. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.12.020>
- [6] Chen, X., Wang, D., Wang, X., Gao, J., Shu, X., Zhou, J., et al. (2014) Neoproterozoic Chromite-Bearing High-Mg Diorites in the Western Part of the Jiangnan Orogen, Southern China: Geochemistry, Petrogenesis and Tectonic Implications. *Lithos*, **200**, 35-48. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.04.007>
- [7] Li, P., Li, J., Liu, X., Li, C., Huang, Z. and Zhou, F. (2020) Geochronology and Source of the Rare-Metal Pegmatite in the Mufushan Area of the Jiangnan Orogenic Belt: A Case Study of the Giant Renli Nb-ta Deposit in Hunan, China. *Ore Geology Reviews*, **116**, 103237. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103237>
- [8] Xu, X., Dong, C., Li, W. and Zhou, X. (1999) Late Mesozoic Intrusive Complexes in the Coastal Area of Fujian, SE China: The Significance of the Gabbro-Diorite-granite Association. *Lithos*, **46**, 299-315. [https://doi.org/10.1016/s0024-4937\(98\)00087-5](https://doi.org/10.1016/s0024-4937(98)00087-5)
- [9] Zhao, G. (2015) Jiangnan Orogen in South China: Developing from Divergent Double Subduction. *Gondwana Research*, **27**, 1173-1180. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.09.004>
- [10] Raimondo, T., Collins, A.S., Hand, M., Walker-Hallam, A., Smithies, R.H., Evans, P.M., et al. (2010) The Anatomy of a Deep Intracontinental Orogen. *Tectonics*, **29**, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2009tc002504>
- [11] Rudnick, R.L. and Gao, S. (2003) Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, **3**, 1-64. <https://doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/03016-4>
- [12] Li, X., Li, Z., Li, W., Liu, Y., Yuan, C., Wei, G., et al. (2007) U-pb Zircon, Geochemical and Sr-Nd-Hf Isotopic Constraints on Age and Origin of Jurassic I- and A-Type Granites from Central Guangdong, SE China: A Major Igneous Event in Response to Foundering of a Subducted Flat-Slab? *Lithos*, **96**, 186-204. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.09.018>
- [13] 王德滋, 沈渭洲. 中国东南部花岗岩成因与地壳演化[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 209-220.
- [14] 舒良树. 华南构造演化的基本特征[J]. 地质通报, 2012, 31(7): 1035-1053.
- [15] 周新民. 对华南花岗岩研究的若干思考[J]. 高校地质学报, 2003, 9(4): 556-565.
- [16] John, B.M., Zhou, X.H. and Li, J.L. (1990) Formation and Tectonic Evolution of Southeastern China and Taiwan: Iso-topic and Geochemical Constraints. *Tectonophysics*, **183**, 145-160. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(90\)90413-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90413-3)
- [17] Jia, L., Mao, J. and Zheng, W. (2019) Geochronology, Geochemistry, and Sr-Nd-Hf-O Isotopes of the Zhongqiuyang Rhyolitic Tuff in Eastern Guangdong, SE China: Constraints on Petrogenesis and Tectonic Setting. *Geological Journal*, **55**, 5082-5100. <https://doi.org/10.1002/gj.3702>
- [18] Yan, Q., Wang, H., Qiu, Z., Wei, X., Li, P., Dong, R., et al. (2018) Origin of Early Cretaceous A-Type Granite and Related Sn Mineralization in the Sanjiaowo Deposit, Eastern Guangdong, SE China and Its Tectonic Implication. *Ore Geology Reviews*, **93**, 60-80. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.12.014>
- [19] Shu, X., Yang, S., Jiang, S. and Ye, M. (2017) Petrogenesis and Geodynamic Setting of Early Cretaceous Felsic Rocks in the Gan-Hang Belt, Southeast China: Constraints from Geochronology and Geochemistry of the Tuffs and Trachyan-desitic Rocks in Shengyuan Volcanic Basin. *Lithos*, **284**, 691-708. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.05.007>
- [20] Yang, S., Jiang, S., Jiang, Y., Zhao, K. and Fan, H. (2010) Geochemical, Zircon U-Pb Dating and Sr-Nd-Hf Isotopic Constraints on the Age and Petrogenesis of an Early Cretaceous Volcanic-Intrusive Complex at Xiangshan, Southeast China. *Mineralogy and Petrology*, **101**, 21-48. <https://doi.org/10.1007/s00710-010-0136-4>
- [21] Huang, H., Wang, K., Pan, J., Liu, X. and Sun, Y. (2019) A-Type Volcanic-Intrusive Complex in the Huanggangshan Basin: Implications for Early Cretaceous Crust-Mantle Interaction in the Gan-Hang Belt and Adjacent Areas, South China. *Lithos*, **336**, 258-275. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.01.021>
- [22] Li, Q., Zhao, K., Lai, P., Jiang, S. and Chen, W. (2018) Petrogenesis of Cretaceous Volcanic-Intrusive Complex from the Giant Yanbei Tin Deposit, South China: Implication for Multiple Magma Sources, Tin Mineralization, and Geodynamic Setting. *Lithos*, **296**, 163-180. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.11.006>

- [23] Peng, H., Fan, H., Jiang, P., Hu, H. and Lan, T. (2021) Two-stage Rollbacks of the Paleo-Pacific Plate beneath the Cathaysia Block during Cretaceous: Insights from A-Type Granites and Volcanic Rocks. *Gondwana Research*, **97**, 158-175. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.05.020>
- [24] Liu, P., Mao, J., Cheng, Y., Yao, W., Wang, X. and Hao, D. (2017) An Early Cretaceous W-Sn Deposit and Its Implications in Southeast Coastal Metallogenic Belt: Constraints from U-Pb, Re-Os, Ar-Ar Geochronology at the Feie'shan W-Sn Deposit, SE China. *Ore Geology Reviews*, **81**, 112-122. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.09.023>
- [25] Qiu, Z., Li, S., Yan, Q., Wang, H., Wei, X., Li, P., et al. (2017) Late Jurassic Sn Metallogeny in Eastern Guangdong, SE China Coast: Evidence from Geochronology, Geochemistry and Sr-Nd-Hf-S Isotopes of the Dadaoshan Sn Deposit. *Ore Geology Reviews*, **83**, 63-83. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.11.015>
- [26] Zhao, G. (2015) Jiangnan Orogen in South China: Developing from Divergent Double Subduction. *Gondwana Research*, **27**, 1173-1180. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.09.004>
- [27] 巫建华, 徐勋胜, 刘帅. 赣南-粤北地区晚白垩世早期长英质火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2012, 31(8): 1296-1305.
- [28] Wang, D. and Shu, L. (2012) Late Mesozoic Basin and Range Tectonics and Related Magmatism in Southeast China. *Geoscience Frontiers*, **3**, 109-124. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.11.007>
- [29] Zhou, X., Sun, T., Shen, W., Shu, L. and Niu, Y. (2006) Petrogenesis of Mesozoic Granitoids and Volcanic Rocks in South China: A Response to Tectonic Evolution. *Episodes*, **29**, 26-33. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2006/v29i1/004>
- [30] Chen, J., Yang, J., Zhang, J., Sun, J. and Wilde, S.A. (2013) Petrogenesis of the Cretaceous Zhangzhou Batholith in Southeastern China: Zircon U-Pb Age and Sr-Nd-Hf-O Isotopic Evidence. *Lithos*, **162**, 140-156. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.01.003>
- [31] Griffin, W.L., Wang, X., Jackson, S.E., Pearson, N.J., O'Reilly, S.Y., Xu, X., et al. (2002) Zircon Chemistry and Magma Mixing, SE China: In-Situ Analysis of Hf Isotopes, Tonglu and Pingtan Igneous Complexes. *Lithos*, **61**, 237-269. [https://doi.org/10.1016/s0024-4937\(02\)00082-8](https://doi.org/10.1016/s0024-4937(02)00082-8)
- [32] Zhou, X.M. and Li, W.X. (2000) Origin of Late Mesozoic Igneous Rocks in Southeastern China: Implications for Lithosphere Subduction and Underplating of Mafic Magmas. *Tectonophysics*, **326**, 269-287. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(00\)00120-7](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(00)00120-7)
- [33] Shu, L., Yao, J., Wang, B., Faure, M., Charvet, J. and Chen, Y. (2021) Neoproterozoic Plate Tectonic Process and Phanerozoic Geodynamic Evolution of the South China Block. *Earth-Science Reviews*, **216**, 103596. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103596>
- [34] 谢桂青. 中国东南部晚中生代以来的基性岩脉(体)的地质地球化学特征及其地球动力学意义初探——以江西省为例[D]: [博士学位论文]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2003.
- [35] 谢桂青,胡瑞忠,赵军红,等. 中国东南部地幔柱及其与中生代大规模成矿关系初探[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25(2): 179-186.
- [36] 董树文, 张岳桥, 陈宣华, 龙长兴, 王涛, 杨振宇, 胡健民. 晚侏罗世东亚多向汇聚构造体系的形成与变形特征[J]. 地球学报, 2008, 29(3): 306-317.
- [37] 秦社彩, 范蔚茗, 郭锋. 江绍断裂带晚中生代镁铁质火山岩成因及其深部过程意义[J]. 岩石学报, 2019, 35(6): 1892-1906.
- [38] Chen, P., Hua, R., Zhang, B., Lu, J. and Fan, C. (2002) Early Yanshanian Post-Orogenic Granitoids in the Nanling Region. *Science in China Series D: Earth Sciences*, **45**, 755-768. <https://doi.org/10.1007/bf02878432>
- [39] 骆念岗, 高莲凤, 张振国, 等. 早白垩世华北克拉通东部岩石圈减薄过程和机制: 来自辽宁本溪北大山岩体的证据[J]. 地学前缘, 2022, 30(3): 340-365.
- [40] 刘俊来, 纪沫, 申亮, 等. 辽东半岛早白垩世伸展构造组合、形成时代及区域构造内涵[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(5): 618-637.
- [41] 刘俊来, 纪沫, 夏浩, 等. 华北克拉通晚中生代壳-幔拆离作用:岩石流变学约束[J]. 岩石学报, 2009, 25(8): 1819-1829.
- [42] 唐远兰. 华南南岭西段中生代火成岩成因及其对古太平洋板块俯冲的指示[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2022.
- [43] Jiang, H., Shao, S., Jiang, S., Yang, S. and Zhao, K. (2022) Early Cretaceous Ocean-Island Basalt-Type Magmatism in Northern Guangdong: Implications for Lithospheric Thinning in the South China Block. *Journal of the Geological Society*, **179**, 69-86. <https://doi.org/10.1144/jgs2021-146>
- [44] 刘国奇. 南岭东段中生代火山盆地与铀成矿作用研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2018.

-
- [45] Jiang, Y., Wang, G., Liu, Z., Ni, C., Qing, L. and Zhang, Q. (2015) Repeated Slab Advance-Retreat of the Palaeo-Pacific Plate Underneath SE China. *International Geology Review*, **57**, 472-491.
<https://doi.org/10.1080/00206814.2015.1017775>
 - [46] Zhang, B., Guo, F., Zhang, X., Wu, Y., Wang, G. and Zhao, L. (2019) Early Cretaceous Subduction of Paleo-Pacific Ocean in the Coastal Region of SE China: Petrological and Geochemical Constraints from the Mafic Intrusions. *Lithos*, **334**, 8-24. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.03.010>
 - [47] 沈晓明, 张海祥, 张伯友. 华南中生代变质核杂岩构造及其与岩石圈减薄机制的关系初探[J]. 大地构造与成矿学, 2008(1): 11-19.
 - [48] 邓晋福, 苏尚国, 刘翠, 等. 关于华北克拉通燕山期岩石圈减薄的机制与过程的讨论: 是拆沉, 还是热侵蚀和化学交代? [J]. 地学前缘, 2006(2): 105-119.