

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2021.025>



广西地区岩石圈表层与深部构造之关联性：源于岩石圈密度与磁性结构的解读

黎海龙^{1,2}, 胡正旺^{1*}, 杜劲松^{1,3}, 涂晨鸣¹, 支剑丽¹, 刘鹏宇¹, 梁青¹, 陈超¹

1. 中国地质大学地球物理与空间信息学院, 湖北武汉 430074

2. 中国—东盟地学合作中心, 广西南宁 530023

3. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

摘要: 广西地处华南地块、印支地块与西太平洋板块的汇合部位, 因特殊的构造部位, 广西区内大地构造单元归属、构造单元边界等许多基础地质问题一直存在争议。自新生代以来的板块构造运动对岩石圈的改造, 广西地壳与上地幔在地震波速度及温度结构方面具有显著差异。应用卫星重、磁异常数据以及区域重力和航磁资料对广西地区岩石圈密度和磁化率结构及其与上地壳构造的关系开展了研究, 结果显示广西地区地壳密度和上地壳磁性结构与现今地表构造较为契合, 但下地壳密度结构与上地幔存在不连续现象; 此外, 岩石圈磁化率结构指示中下地壳存在不同范围和程度的解耦。对广西岩石圈密度与磁性结构的解读认为, 在中生代以来岩石圈被大规模改造的背景下, 幔源物质上侵至上地壳的规模和范围都有限, 这可能是整个广西地区上地幔结构与地壳构造不对应的主要原因。

关键词: 广西地区; 重磁异常; 岩石圈; 密度结构; 磁性结构; 地球物理。

中图分类号: P318

文章编号: 1000-2383(2022)04-1507-10

收稿日期: 2021-02-27

Tectonic Relationship between Upper and Lower Lithosphere in Guangxi Area: A Comprehension from Lithospheric Density and Magnetic Structures

Li Hailong^{1,2}, Hu Zhengwang^{1*}, Du Jinsong^{1,3}, Tu Chenming¹, Zhi Jianli¹, Liu Pengyu¹, Liang Qing¹, Chen Chao¹

1. Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. China-ASEAN Geosciences Cooperation Center, Nanning 530023, China

3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Guangxi is located in the convergent region among South China block, Indo-Chinese block and West Pacific plate. Due to its special tectonic position, there have been disputed on several basic geological problems in Guangxi region, such as the ascription and boundaries of tectonic units. Because the lithosphere has been reconstructed by the plate tectonic movements since the Cenozoic, the crust and upper mantle beneath Guangxi area have obvious differences in seismic wave velocity and temperature

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 41774091); 中国地质调查局地质调查项目(Nos. DD20179607, DD20160060)。

作者简介: 黎海龙(1970—), 男, 博士研究生, 主要从事地球物理勘查、区域构造与矿产勘查及相关技术工作。E-mail: 252296049@qq.com

* **通讯作者:** 胡正旺, ORCID: 0000-0003-2932-9320, E-mail: hzw@cug.edu.cn

引用格式: 黎海龙, 胡正旺, 杜劲松, 涂晨鸣, 支剑丽, 刘鹏宇, 梁青, 陈超, 2022. 广西地区岩石圈表层与深部构造之关联性: 源于岩石圈密度与磁性结构的解读. 地球科学, 47(4): 1507-1516.

Citation: Li Hailong, Hu Zhengwang, Du Jinsong, Tu Chenming, Zhi Jianli, Liu Pengyu, Liang Qing, Chen Chao, 2022. Tectonic Relationship between Upper and Lower Lithosphere in Guangxi Area: A Comprehension from Lithospheric Density and Magnetic Structures. *Earth Science*, 47(04): 1507-1516.

structures. It employs satellite gravity and magnetic data as well as regional gravity and aeromagnetic survey data to investigate the relationship between lithospheric density and magnetic susceptibility structure and upper crust structure in Guangxi area. Results suggest that the crustal density and upper-crust susceptibility structures coincide with the surface geological structures, and the density structures of the lower crust and the upper mantle are discontinuous beneath Guangxi area. Susceptibility structure implies that different extents of mid-lower crust decoupling had caused in different parts in Guangxi area. As a result, the scale and scope of mantle-derived materials into the upper crust were limited under the background of large-scale lithospheric reconstruction since Mesozoic. It may be the main reason why the upper mantle structure in Guangxi area is not corresponding to that of the crust. The mid-lower crust decoupling results in that the magmatic activity in Guangxi area is obviously weaker than that in the surrounding area since Cretaceous, especially in the northern region of the Pingxiang-Dali fault zone.

Key words: Guangxi area; gravity and magnetic anomalies; lithosphere; density structure; magnetic structure; geophysics.

0 引言

广西地处华南地块、印支地块与西太平洋板块的汇合部位,在多期强烈的构造运动影响之下,板块不断发生汇聚与离散.由于复杂的构造演化历史和特殊的构造部位,广西区内大地构造单元归属、构造单元边界等许多基础地质问题仍然具有许多不同的看法.例如,与前人的划分(如郭福祥, 1994)不同,潘桂棠等(2009)将广西地区归属为扬子陆块区的上扬子陆块、武夷—云开—台湾造山系的罗霄—云开弧盆系和西藏—三江造山系的崇左弧盆系 3 个二级构造单元.目前这种构造划分及与之相近的构造划分体系已被广泛接受(如林建辉等, 2015; 张如放等, 2017).然而,诸如区内扬子板块和华南地块的边界、华南地块与华夏地块的边界等基础地质问题仍存在争议(黄启勋, 2000).

中、新元古代至早古生代末,广西所属地块经历了古华南海持续向扬子克拉通沿东南方向俯冲消减以及扬子陆块与武夷—云开岩浆弧拼贴等复杂的地质过程,晚三叠世以来进入滨东印度洋与滨西太平洋活动大陆边缘发展的新时期.由于印度大陆与欧亚大陆碰撞以及青藏高原迅速隆升效应,致使青藏高原北部、东部及南部的大量物质围绕东构造结向东及向南东方向逃逸,使印支地块沿东南方向挤出,形成大规模 NW 向走滑断裂系(许志琴等, 2011).白垩纪以来,由于太平洋板块迅速从南半球扩张到北半球,使西太平洋地区的亚洲大陆与太平洋之间发生显著的左行走滑断裂活动,开始形成西太平洋边缘的沟弧体系;在始新世—渐新世末期,印度板块与欧亚大陆之间发生碰撞,几乎与此同时,太平洋板块的运移方向发生突然的变化,由原来沿 NNW 向运动转为沿 NW 向运动;新近纪以来,太平洋板块进一步向 NW 方向的运移,华南地块、

南海地块则受到菲律宾海板块向 NW 方向的挤压(万天丰, 2013).

新生代以来的板块构造运动使广西所属地块岩石圈经受了大规模的改造.中国(华南)地区新近岩石圈结构研究显示,广西所属地块的地壳与岩石圈地幔地震波速结构有着明显不同(Zhou *et al.*, 2012; Tao *et al.*, 2018; Xin *et al.*, 2019),虽然不同学者的研究结果有所差异,但总体上具有类似的特征.地震波速结构(Xin *et al.*, 2019)显示,上地壳(~15 km),桂西及相邻地区速度结构呈 NNE 向展布,纵、横波速度均向西降低,而桂东及其邻区速度结构呈 NE 向展布,与中国东南沿海地区特征一致;下地壳—岩石圈顶部(20~60 km),整个广西地区速度结构为 NEE 向展布,这种态势一直延续到岩石圈底部(60~100 km).板块运动对岩石圈的改造可能是造成地壳与上地幔波速结构不同的原因.

在广西地区,无论是构造运动、沉积作用、岩浆活动还是变质作用,均具有多旋回演化的特点.根据地质构造的演化特点,大致可将广西大地构造演化划分为 3 个阶段,即中元古代—早古生代古华南海发展阶段、晚古生代—中三叠世大陆发展阶段(其中包括钦防残留洋盆和右江裂谷的形成和发展)、晚三叠世—第四纪活动陆缘发展阶段.从区域断裂构造展布来看,许多学者(如张如放等, 2017)以南丹—昆仑关断裂带和凭祥—大黎断裂带为界,将广西地区划分为桂东、桂西和桂南 3 个构造区块:桂西区块主要分布 NW 向深大断裂带,如右江断裂带、黑水河断裂带、那坡断裂带等;桂东区块主要以 NE—NNE 向深大断裂带为主,如博白—梧州断裂带、桂林—来宾断裂带、三江—融安断裂带等;桂南区块主要发育 NEE 向深大断裂带,如峒中—小董断裂带、上思—在妙断裂带、灵山—藤县断裂带、陆川—岑溪断裂带等.这些深大断裂带被许多学者作

为广西地区现今区域构造划分的主要界线(如黄启勋, 2000; 林建辉等, 2015; 张如放等, 2017)。

卫星重力和磁力异常数据是研究岩石圈乃至上地幔构造的重要资料(许厚泽, 2001; 张昌达, 2003)。前人曾利用卫星重、磁数据定性地分析了卫星重、磁异常与深部构造的关系(陈家联等, 2010a, 2010b)。卫星重力异常中的中—短波长成分主要反映岩石圈和上地幔物质密度的分布情况(Kaban *et al.*, 2017; Liang *et al.*, 2019), 通常被运用于研究岩石圈及上地幔结构。卫星磁异常则通常被用于研究居里面以上岩石圈磁性结构与构造演化特征, 而岩石圈磁性结构是解析岩石圈中长英质、铁镁质等组分分布的重要依据。本文应用卫星重、磁异常数据对岩石圈深部密度和磁性结构进行了分析, 并利用区域重力和航磁资料反演得到广西地区岩石圈表层密度和磁化率异常结构, 依此对该地区岩石圈表层与深部构造的关系开展了研究。

1 深部地球物理特征

1.1 岩石圈重磁异常

本文所采用的卫星重力异常数据是由 EIGEN-6C4 模型(2-2190 阶)解算得到的自由空间重力异常, 经过地形效应校正获得卫星布格重力异常(S-BGA)(图 1a)。为了更好地突出异常变化特征, 我们将布格重力异常转换为垂直导数异常(图 1b), 以凸显岩石圈构造格架特征。图 1c 所展示的卫星磁异常数据由 WDMAMv2 模型(Lesur *et al.*, 2016)解算而来, 空间分辨率 3'。

广西地区卫星重力异常呈现出由东南向西北逐渐降低的态势, 与该地区的莫霍面深度变化趋势以及岩石圈—上地幔速度(Xin *et al.*, 2019; Guo *et al.*, 2019)和温度结构(Wang and Chen, 2012)类似。卫星重力垂直梯度异常(图 1b)展示了广西地区区域构造背景的空间分布差异性, 东部和南部为 NE—NEE 向展布, 西部为 NWW 向展布, 其中崇左—南宁—贵港—贺州一线为重力梯度带。广西地区卫星磁异常(图 1c)幅值不高, 正磁异常主要分布于崇左—南宁—贵港—贺州一线及以南地区, 桂中地区有一个强度不大的低缓正磁异常; 此外, 桂东北、桂西北省边界地区有范围不大的正磁异常。在崇左—南宁—贵港—贺州一线及其以南地区, 卫星磁异常趋势与重力异常垂直导数有类似的空间分布特征, 呈 NEE 向展布。整体上, 广西地区的磁异常

变化幅度较低, 属于弱岩石圈磁场背景。

1.2 区域断裂构造

由于受上扬子地块、华夏地块和越北地块联合作用的影响, 广西境内区域性断裂甚为发育。大多区域断裂具有按一定方向集群式发育的特点, 其形成和演化显然受到区域构造活动的控制。区域断裂往往切割较深、规模较大, 一般都由数条平行的次级断层组成断裂带。断裂带活动延续时间长, 具多期活动的复合性断裂特征。区域断裂对沉积岩相、岩浆活动和成矿作用等均起着明显的控制作用。在断裂空间展布的方向上(图 1d), 大多具有明显的地域性特点, 如桂北地区为一系列的 NNE 向逆冲断裂组合为主, 桂东南和桂西地区则以 NEE 向和 NW 向断裂为特征。宏观上, 这些区域断裂与卫星重、磁异常的展布特征具有一定的关联, 但空间位置有所不同, 尤其在桂西地区, 区域断裂在卫星重、磁异常上的显示不明确, 表明岩石圈深部结构或另有成因。

1.3 上地幔密度结构

为了揭示研究区深部构造背景, 笔者利用卫星重力异常进行三维反演, 得到广西及邻区的上地幔密度结构(图 2), 其中密度反演是在地震波速度模型 SL2103sv(Schaeffer and Lebedev, 2013)的约束下完成的。根据 Liang *et al.*(2019)的理论模型试验和讨论, 将地震波速度异常转换为密度异常并作为反演的参考模型, 可为密度反演予以“导向”, 但反演结果不会完全趋同于速度模型。从本文反演的密度结构(图 2a~2c)与采用的速度模型(图 2d~2f)对比来看, 密度异常基本“遵循”速度模型的趋势, 但细节上并没有“复制”速度模型。上地幔密度异常显示, 广西及其邻区岩石圈底部密度横向变化极不均匀(图 2a), 随着深度增加, 软流圈密度异常开始趋于平缓。Kaban *et al.*(2017)认为, 在这个深度上岩石圈密度异常主要反映了上地幔物质成分和温度变化, 即负密度异常可能是长英质占主导或温度较高, 正密度异常可能是铁镁质为主或温度较低。根据广西地区的天然地震记录, 地震发生频次和震级都较低, 且大多为壳内地震, 据此推测这些上地幔小范围密度异常主要反映物质成分的变化, 可能是晚白垩世以来西太平洋板块活动背景下上扬子地块、华夏地块和印支地块的聚合作用对该地区岩石圈改造的结果。根据岩石圈厚度模型(Litho 1.0)的数据, 广西地区岩石圈厚度由南向北逐渐加厚, 大部分地区岩石圈减薄, 厚度小于大陆平均岩石圈厚

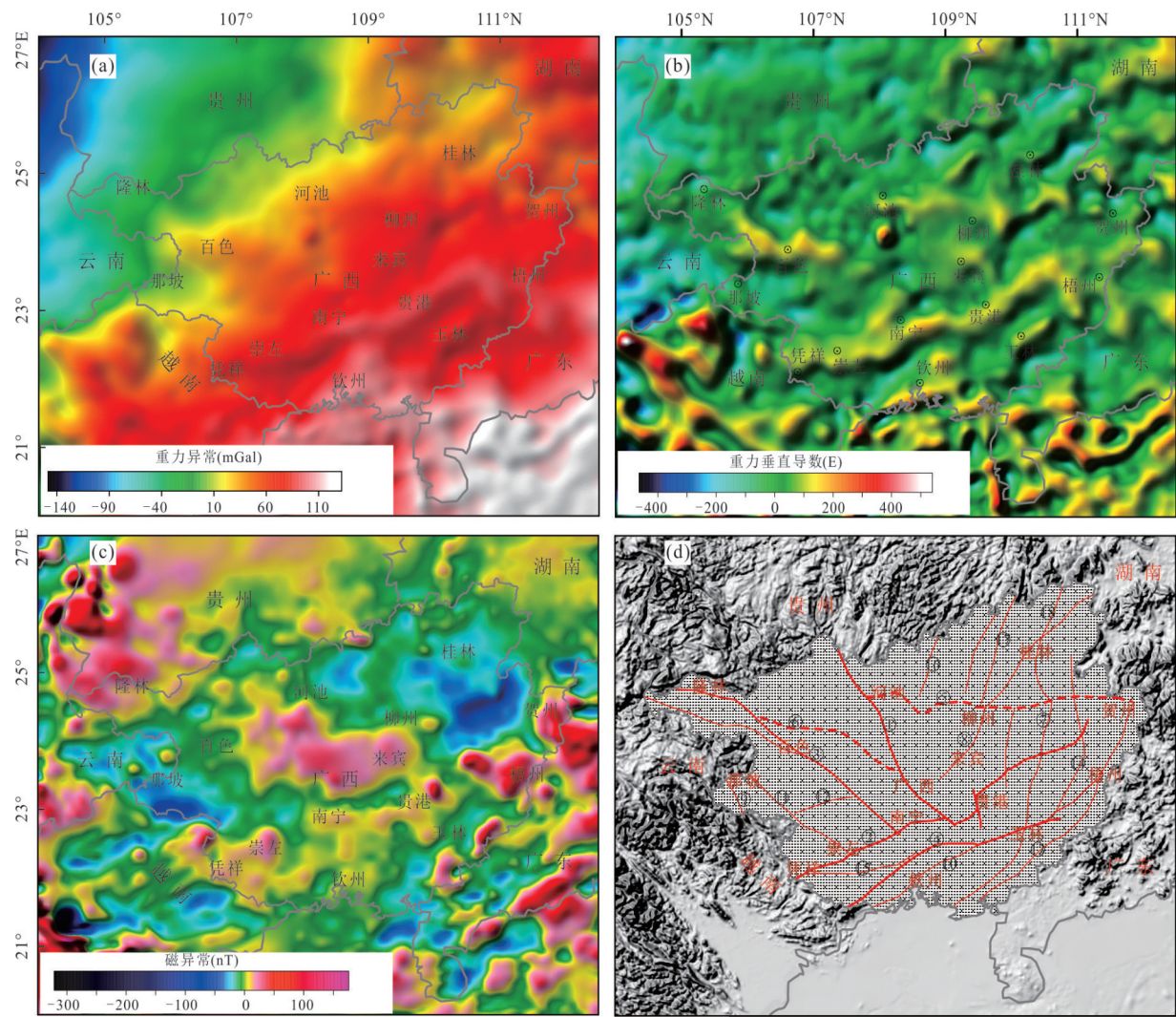


图1 广西及邻区卫星重、磁异常及主要区域断裂构造

Fig. 1 Satellite gravity and magnetic anomalies and main regional faults

a. 卫星(布格)重力异常; b. 卫星重力异常垂直导数; c. 卫星磁异常; d. 广西区域断裂构造分布图(根据新版广西区域地质志: 广西主要区域断裂构造简图汇编), 图中红色虚线为推断深大断裂. 图中所列区域断裂分别为: ①南丹—昆仑关断裂带; ②凭祥—大黎断裂带; ③右江断裂带; ④峒中—小董断裂带; ⑤宜州—柳城断裂带; ⑥田林—八马隐伏断裂带; ⑦博白—梧州断裂带; ⑧桂林—来宾断裂带; ⑨那坡断裂带; ⑩灵山—藤县断裂带; ⑪黑水河断裂带; ⑫下雷—灵马断裂带; ⑬陆川—岑溪断裂带; ⑭栗木—马江断裂带; ⑮上思—在妙断裂带; ⑯池洞—摩天岭断裂带; ⑰和睦—老堡断裂带; ⑱资源—溶江断裂带

度, 桂南地区 LAB 界面向东凸起, 有别于其东部华南大陆区域, 这可能与南海扩张有关.

2 地壳密度和磁性结构与上地幔结构的关联性

相对卫星重、磁资料, 地面区域重力数据和航磁资料能更详细地展示地壳和岩石圈地幔构造和岩性信息. 为了进一步了解广西地区地壳及岩石圈地幔的结构特征及差异, 笔者应用区域重力异常数据(1:25 万区域重力调查成果)和航磁数据(1:5 万~

1:50 万调查成果)进行了三维反演.

2.1 岩石圈密度结构特征

反演得到的岩石圈三维密度结构(图 3)显示, 中—上地壳密度异常的展布与区内多数区域断裂相关联, 反映上地壳结构明显受到这些断裂构造控制, 系多期构造活动所致. 以南丹—昆仑关断裂带和凭祥—大黎断裂带为界, 可将广西岩石圈密度结构划分为桂西、桂东与桂南特征 3 个区块: 桂西地区密度结构呈 NW 向展布, 桂东地区密度结构显示了 NNE—NE 和近 EW 向两组构造特征, 而桂南地区密度结构则以 NEE 向构造为主. 地壳低密度异常主

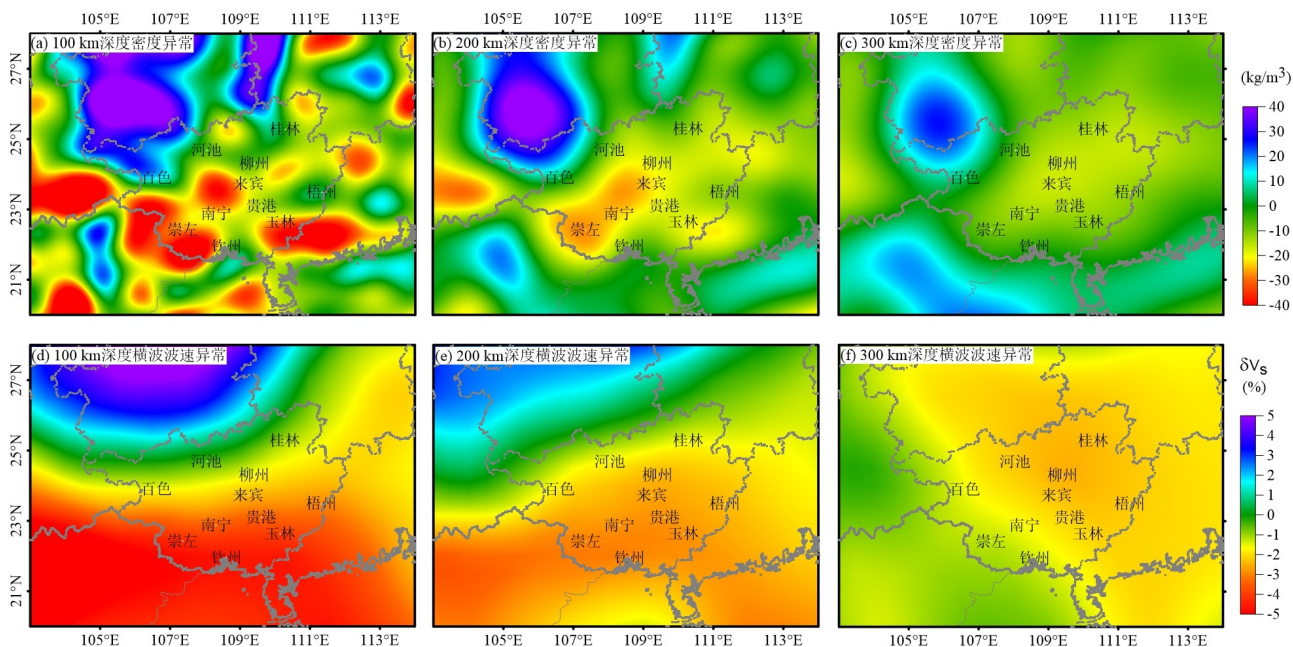


图 2 广西及邻区上地幔密度与横波波速异常(δV_s)

Fig. 2 Density and shear wave velocity vs. anomalies beneath the Guangxi and its surrounding regions

图 a, b 和 c 分别为利用卫星重力异常反演得到的不同深度上地幔密度异常; 图 d, e 和 f 为对应深度上地幔横波波速异常(数据取自 SL2013sv 模型)

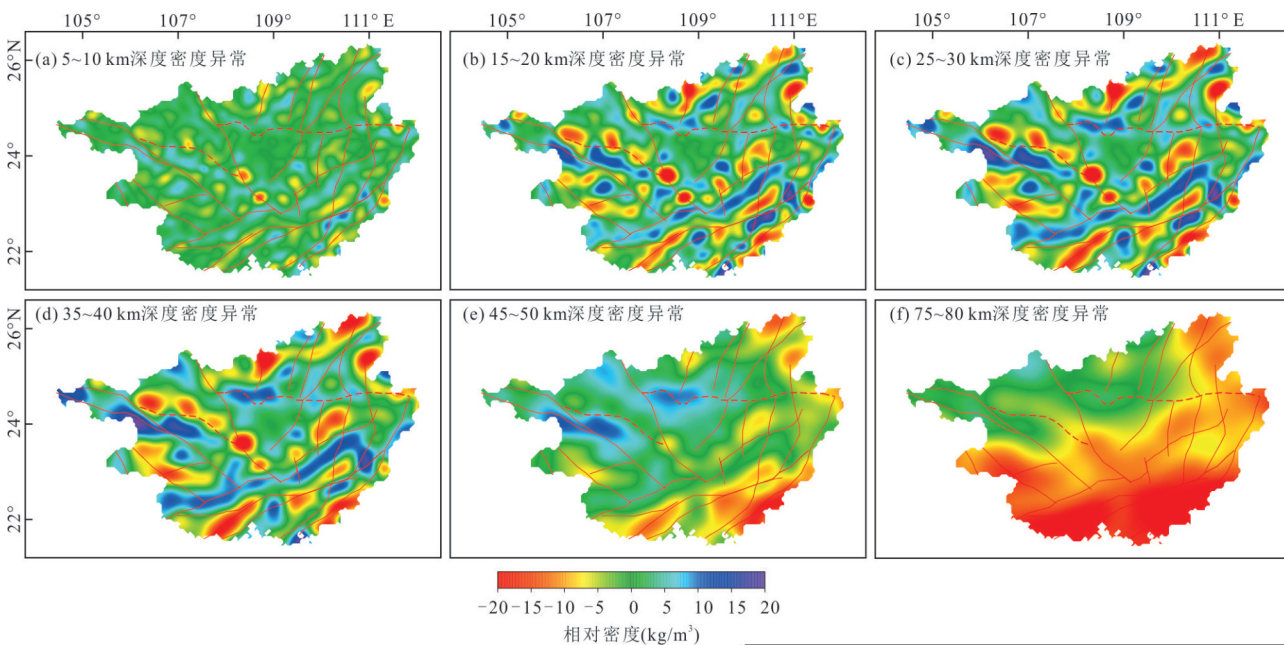


图 3 广西地区岩石圈不同深度的密度异常

Fig. 3 Density anomalies of the lithosphere in different depths in Guangxi region

图中红色线段为主要区域断裂, 虚线段为推测的深大断裂

要与岩石圈挤压破碎带、中—新生代沉积凹陷和大规模中酸性岩体有关, 如凭祥—大黎断裂带、田林—八马隐伏断裂带、峒中—小董断裂带、上思—在妙断裂带及其周边的中新生代盆地和岩体所对

应的是低密度异常. 地壳范围的密度分布显示广西周边的地块运动对地壳结构的破坏十分显著, 许多深大断裂带两侧密度结构被错动, 如右江断裂带、南丹—昆仑关断裂带南端、峒中—小董断裂带等.

此外,南丹—昆仑关断裂带、宜州—柳城断裂带和桂林—来宾断裂带所挟持的桂中地区地壳密度异常变化平缓,该地带鲜有岩浆岩出露,表明该地区岩石圈上部在多期构造运动中未经历大规模改造,可能属于古老的扬子克拉通块体。桂南地区 NEE 向岩石圈结构与当地地表构造形态较为契合,但在下地壳有被错断的迹象,而传统理论认为的华南褶皱带与华夏地块的界线并不显著。

岩石圈中部密度结构(50~80 km)呈 NEE 向展布(图 3e, 3f),与上地幔结构特征(图 2c)类似,但与下地壳密度结构不连续,密度由东南向西北逐渐增高,南部大范围的低密度异常系岩石圈减薄的特征显现。位于桂南地区北部的贯穿全区的高密度带显示了扬子地块与华南地块的缝合带所在;位于桂南钦州一带的近南北向的高密度带反映了两侧岩石圈的改造具有不同的动力学背景,这是否与南海形成与扩张有关还有待证实。

2.2 岩石圈磁性与热结构特征

广西地区岩浆侵入活动是伴随着地壳板块构造事件的裂解离散、俯冲消减、汇聚和碰撞而产生,不同地质年代均伴随有岩浆侵入或喷发活动,然而三叠纪以后广西地区岩浆侵入活动的规模逐渐减弱,白垩纪以来主要发育零星的火山岩和基性、超基性岩脉。利用航磁异常反演得到的岩石圈磁性结构(图 4)显示,在中—上地壳(~25 km)深度段,高磁性物质与区域断裂构造分布关系密切,主要与 NW 及 NE 向构造相关,可能是早中生代岩浆活动的遗迹。随着深度加大,高磁化率异常与一些深大断裂的关系逐步显现,如南丹—昆仑关断裂带、凭祥—大黎断裂带、右江断裂带、田林—八马隐伏断裂带、下雷—灵马断裂带、和睦—老堡断裂带、资源—溶江断裂带以及桂南地区的 NEE 向系列断裂等。在下地壳—岩石圈地幔顶部(25~40 km)高磁性物质明显增多,推测该深度段内可能聚集了大量幔源物质。从整个岩石圈磁性结构来看,广西地区地壳的高磁性物质并不丰富,与杨晓瑜和李永华(2021)利用纵横波速比推测华南地区地壳成分主要为长英质的论断相符。

居里面深度是研究现今岩石圈热状态和构造活动的重要资料。袁玉松等(2006)认为,华南地区区域地温梯度偏低是扬子克拉通和华南造山带内部现今构造活动程度相对较低的表现,中生代的强烈岩浆作用热效已基本消失,而现今大地热流与岩

石圈伸展拉张程度有关。根据 Zhi *et al.* (2018)估算的居里面深度(图 4i),广西地区居里面深度变化与地壳表层构造和岩浆岩分布没有明显的对应关系。在凭祥—大黎断裂带以北地区存在一个居里面下陷区带,反映了扬子克拉通与华南褶皱系下的岩石圈低温带;桂南地区居里面较浅,可能与该地段晚中生代以来强烈伸展变形导致的岩石圈减薄有关;居里面深度所反映的整体趋势温度结构与华南地区的岩石圈热结构(Wang and Chen, 2012)大致相符,系中—新生代以来太平洋板块活动以及南海扩张的结果。广西地区居里面深度变浅的地带可能与中—新生代岩浆活动有关。

纵观岩石圈不同深度段上的磁化率异常,在桂西和桂南地区中—上地壳与下地壳高磁性物质分布具有显著的差异,下地壳高磁性物质与地壳表层构造不对应,但在空间位置上具有错动迹象(图 4c, 4g)。从反演的磁化率异常剖面(图 5)上看,广西地区岩石圈磁性物质普遍具有分层特征,在许多地段上表层高磁性物质与深部高磁性层具有脱节现象,如剖面 AA'(图 4a)中的下雷—灵马断裂至田林—巴马断裂一带、剖面 DD'(图 4d)中的田林—巴马断裂至宜州—柳城一带;而中—下地壳普遍存在一个低磁性层,高磁性物质在垂向上分布极不规律,凭祥—大黎断裂带以北主要表现为双层结构,以南主要表现为 3 层或多层结构,反映了广西地区多期构造活动对岩石圈的改造和岩浆活动的痕迹。若晚中生代以来广西地区地壳相对稳定,层状磁性层则可能是中—下地壳的滑脱层,即地壳解耦的显示,桂西地区浅部与深部磁性结构的差异性以及大规模的 NW 向走滑断裂可作为滑脱层存在的例证。由于各构造单元所经历的演化不同,形成滑脱层的成因和时间各不相同。由于不同时期的块体间的相互挤压,地壳表层发生脆性形变并与下伏岩层脱离,在不同深度上形成滑脱层面,为岩浆横向侵入提供了通道。在广西地区所经历的各个构造活动时期,广西地区普遍发育有深大逆断层或逆冲断层,说明了具有曾发生地壳解耦的可能。

地壳解耦使高磁性物质在垂向上分布不连续,说明深源磁异常与浅源磁异常缺乏良好对应关系。下地壳具有相对丰富的高磁化率物质,则可能与新生代以来岩石圈遭破坏减薄或古老克拉通残块的变质基底有关,在凭祥—大黎断裂带以南地区可能属于岩石圈遭破坏后幔源物质上涌至 30~40 km 处

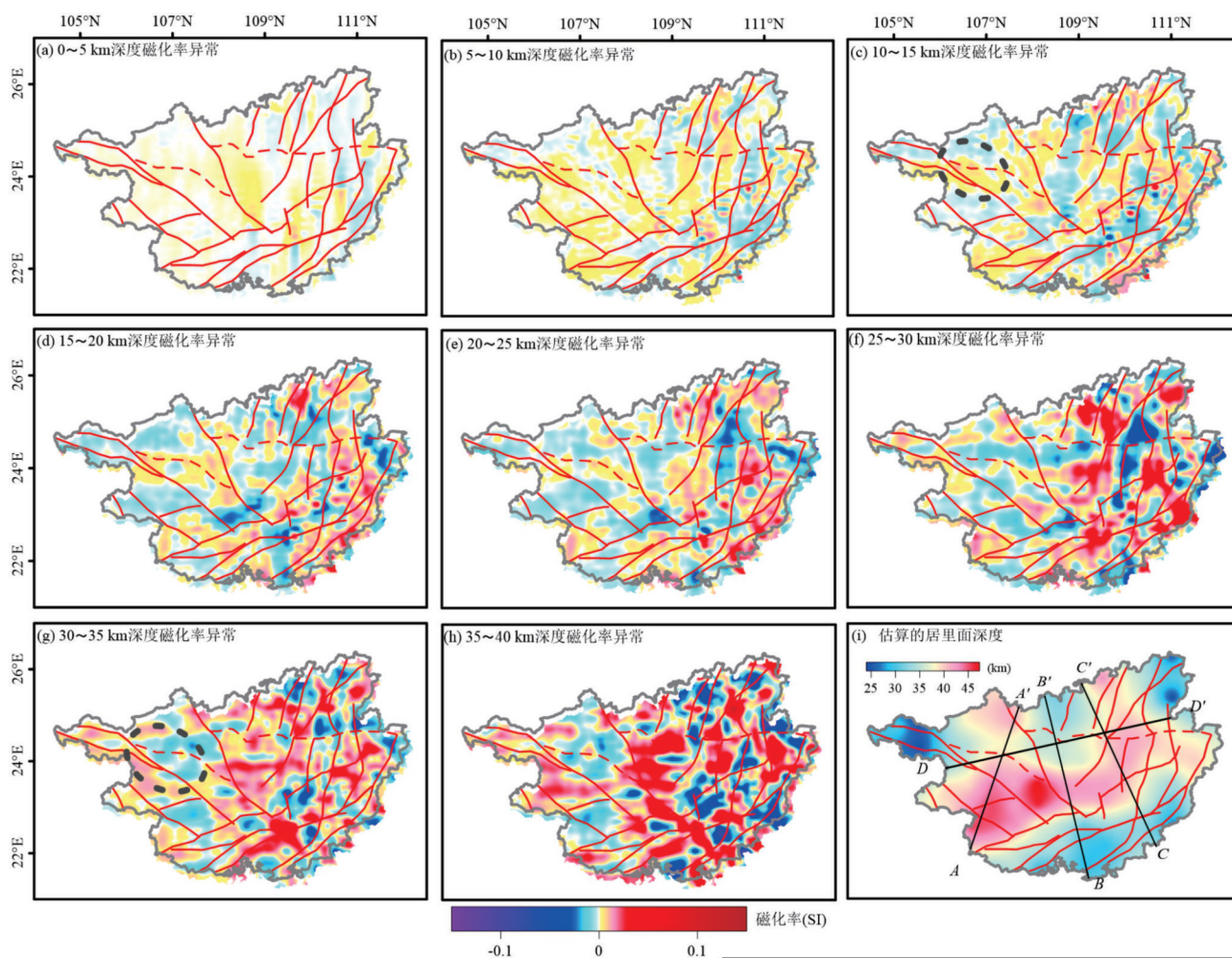


图4 广西地区岩石圈不同深度的磁化率异常及估算的居里面深度(CPD数据源于 Zhi *et al.*, 2018)

Fig.4 Magnetic susceptibility anomalies of the lithosphere in different depths and the estimated depth of Curie point depth (CPD) in Guangxi region (CPD data from Zhi *et al.*, 2018)

图中红色线段为主要区域断裂,黑色线段为垂向切片剖面位置

形成聚集,该断裂带以北地区则可能为被破坏的变质基底或多期岩浆活动留下的幔源物质。

2.3 岩石圈密度和磁性结构与上地幔结构的关联

广西地区地壳密度与现今地表构造较为契合,反映了区内主要壳内构造体系和岩性特征。根据地壳密度异常分布特征和新版广西区域地质志(待出版)提出的构造单元划分体系,可将地壳密度结构分为3个区块:地处滇黔桂被动陆缘三级构造单元的桂西区块、位于湘桂被动陆缘和雪峰—四堡古岛弧2个三级构造单元的桂东区块以及位于凭祥—大黎断裂带以南区域的桂南区块。其中,桂东区块中湘桂被动陆缘和雪峰—四堡古岛弧两单元之间密度结构没有明显差异,桂南区块隶属的滇黔桂被动陆缘(十万大山断陷盆地)、湘桂被动陆缘(大瑶山陆缘沉降带)、钦防结合带和罗霄—云开弧盆系4个

三级构造单元区域内,区块内地壳密度结构受NEE向构造控制显著。地壳密度结构显示壳内(尤其上地壳)构造基本继承了中生代以前的构造格局。而岩石圈地幔的密度结构展示了新生代以来西太平洋板块运动对欧亚大陆作用的行迹,其西南的印支地块的挤压作用并不显著。可见,新生代以来的运动对区内岩石圈的改造由南向北逐渐减弱,桂西和桂东区块岩石圈地幔基本继承了之前的结构,桂南区块岩石圈地幔几乎完全被改造。因此,依据地表地层与岩石的构造分区,不能代表研究区深部构造特征。

与地壳密度异常不同,岩石圈磁性结构不具有明显的与构造单元相关的分区特征。根据高磁化率异常展布特征,以南丹—昆仑关断裂带为界,仅可分为以北西向为主的东区和近南北向为主的西区。

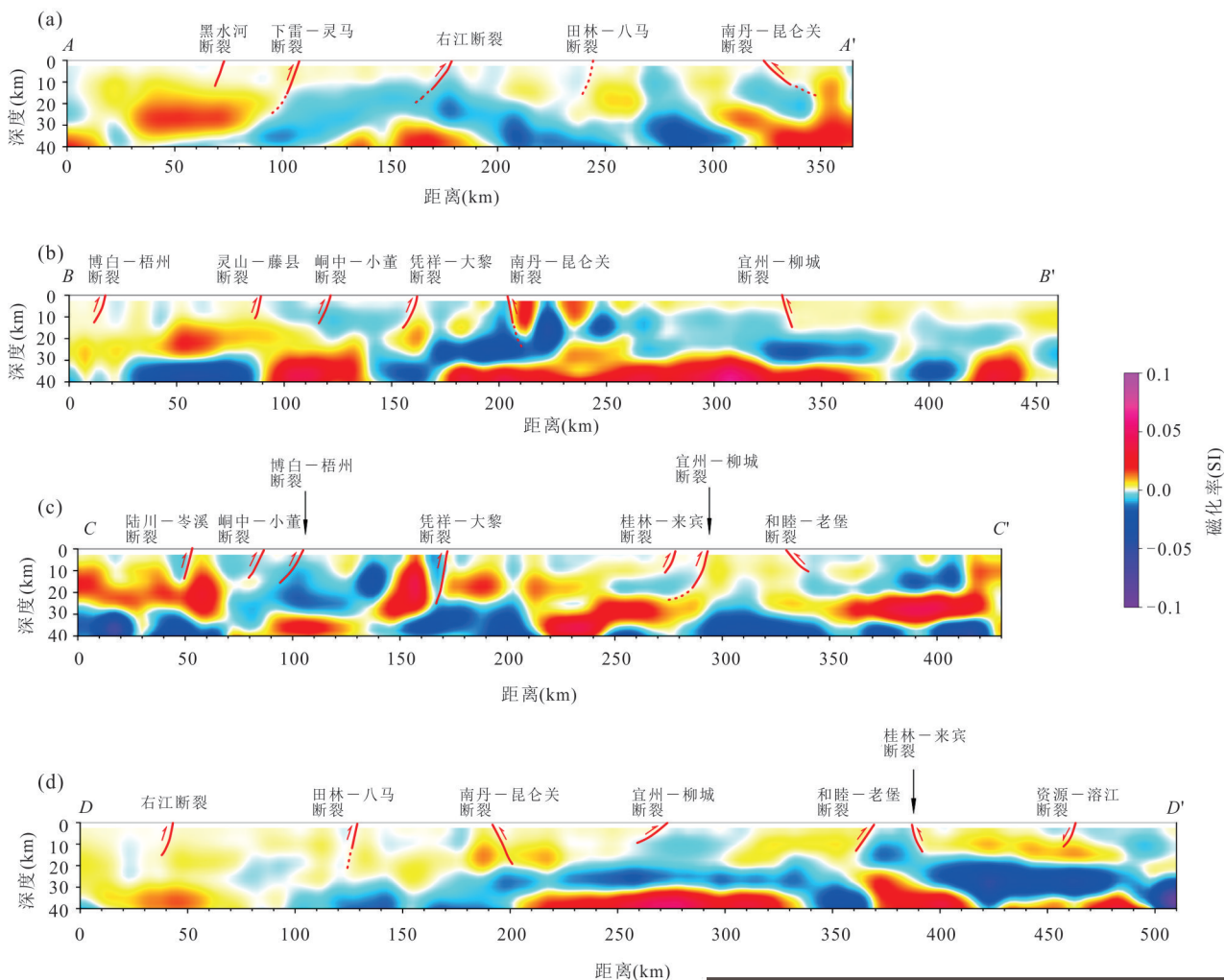


图 5 反演的岩石圈磁化率异常剖面

Fig.5 Inverted magnetic susceptibility anomalies of the lithosphere in sections
图 a~d 分别为图 4i 中 AA', BB', CC'和 DD'剖面上的磁化率异常分布

由于岩石圈磁化率异常主要反映各个构造活动和岩浆活动时期的“物质流”行迹,从平面上看,上地壳高磁化率异常分布与现今地表区域断裂带具有相当程度的契合,高磁化率异常与区域断裂的关联显示了构造活动时期岩浆活动的强度;而下地壳磁化率异常分布逐渐偏离了区域断裂所在的地段,因此我们将这一现象解释为中一下地壳存在解耦.下地壳磁化率异常展布方向也有所变化,西区高磁化率异常由北西向转为近东西向,东区则出现了东西向、北西向及南北向并存的现象.新生代以来,由于印支板块和太平洋板块从西南和南东方向推挤,导致广西区内长期处于东西方向的应力场中(万天丰, 2013),区内以断块间差异升降以及离散走滑为构造演化特征,以北西—北西西、北东—北东东方向为主的先存区域性断裂转为走滑剪切活动,沿断

裂新生代走滑拉分盆地发育.新生代的构造活动虽然使一些老断层不同程度地活化,但岩浆活动强度有限,携带幔源物质的岩浆仅沿岩石圈破裂间隙进入并滞留在地壳深部,沿近东西向展布.由此可见,中—新生代以来广西地区岩石圈的减薄虽然使其温度增高,但造成的岩浆活动影响在区域上由南向北减弱.

3 结论

结合近年来华南及东南沿海地区地壳—上地幔结构及热状态方面研究的新成果,笔者利用卫星重、磁数据和区域重力及航磁数据对广西地区岩石圈表层和深部结构开展了研究.利用反演得到的岩石圈密度及磁性结构,分析了其成因及其与地表区

域构造的关联,认为广西地区地壳密度和上地壳磁性结构与现今地表构造较为契合,但下地壳密度结构与上地幔存在不连续现象;发现不同地区岩石圈磁化率结构存在不同范围和程度的中—下地壳解耦迹象,致使在晚白垩以来岩石圈被大规模改造的背景下幔源物质上侵至上地壳的规模和范围都有限,这些现象可能是整个广西地区上地幔结构与地壳构造不对应的主要原因。

References

- Chen, J. L., Zhang, Y., Chen, C., 2010a. Satellite Gravity Anomalies and Regional Geological Characteristics in the Guangxi Area. *Progress in Geophysics*, 25(4): 1233—1239 (in Chinese with English abstract).
- Chen, J. L., Zhang, Y., Chen, C., 2010b. Satellite Magnetic Anomaly and Regional Geological Characteristics in Guangxi Area. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 7(3): 327—332 (in Chinese with English abstract).
- Guo, F. X., 1994. Geotectonic Units of Guangxi. *Journal of Guilin College of Geology*, 14(3): 233—243 (in Chinese with English abstract).
- Guo, L. H., Gao, R., 2018. Potential-Field Evidence for the Tectonic Boundaries of the Central and Western Jiangnan Belt in South China. *Precambrian Research*, 309: 45—55. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.01.028>
- Guo, L. H., Gao, R., Shi, L., et al., 2019. Crustal Thickness and Poisson's Ratios of South China Revealed from Joint Inversion of Receiver Function and Gravity Data. *Earth and Planetary Science Letters*, 510: 142—152. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.12.039>
- Hu, R. G., Zhao, Y. L., Cai, Y. F., et al., 2020. Characteristics of Biotite in the Granite Porphyry and Its Significance for Petrogenesis and Mineralization of Dachang Sn-Polymetallic Ore Deposit, Guangxi. *Earth Science*, 45(4): 1213—1226 (in Chinese with English abstract).
- Huang, Q. X., 2000. The Characteristics of Some Important Basic Geology in Guangxi. *Guangxi Geology*, 13(3): 3—12 (in Chinese with English abstract).
- Kaban, M. K., Stolk, W., Tesauro, M., et al., 2016. 3D Density Model of the Upper-Mantle of Asia Based on Inversion of Gravity and Seismic Tomography Data. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17: 4457—4477.
- Lesur, V., Hamoudi, M., Choi, Y., et al., 2016. Building the Second Version of the World Digital Magnetic Anomaly Map (WDMAM). *Earth, Planets and Space*, 68(1): 27. <https://doi.org/10.1186/s40623-016-0404-6>
- Liang, Q., Chen, C., Kaban, M. K., et al., 2019. Upper-Mantle Density Structure in the Philippine Sea and Adjacent Region and Its Relation to Tectonics. *Geophysical Journal International*, 219(2): 945—957. <https://doi.org/10.1093/gji/ggz335>
- Lin, J. H., Luo, Y. Y., Shu, G., et al., 2015. Regional Ore-Forming Regularity and Division of Minerogenetic Series in Guangxi. *Mineral Deposits*, 34(6): 1270—1294 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G. T., Xiao, Q. H., Lu, S. N., et al., 2009. Subdivision of Tectonic Units in China. *Geology in China*, 36(1): 1—28, 255 (in Chinese with English abstract).
- Schaeffer, A. J., Lebedev, S., 2013. Global Shear Speed Structure of the Upper Mantle and Transition Zone. *Geophysical Journal International*, 194(1): 417—449. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt095>
- Wan, T. F., 2013. A New Asian Tectonic Unit Map. *Geology in China*, 40(5): 1351—1365 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y., Cheng, S. H., 2012. Lithospheric Thermal Structure and Rheology of the Eastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 47: 51—63
- Xin, H. L., Zhang, H. J., Kang, M., et al., 2019. High-Resolution Lithospheric Velocity Structure of Continental China by Double-Difference Seismic Travel-Time Tomography. *Seismological Research Letters*, 90(1): 229—241. <https://doi.org/10.1785/0220180209>
- Xu, H. Z., 2001. Satellite Gravity Missions—New Hotpoint in Geodesy. *Developments in Surveying and Mapping*, 26(3): 1—3 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X. B., Liang, C. H., Chen, J. J., et al., 2021. Fundamental Geological Features and Metallogenic Geological Backgrounds of the Nanling Tectonic Belt. *Earth Sciences*, 1—26[2021—03—25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1874.P.20200617.1745.006.html> (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. Q., Yang, J. S., Li, H. B., et al., 2011. On the Tectonics of the India-Asia Collision. *Acta Geologica Sinica*, 85(1): 1—33 (in Chinese with English abstract).
- Yang, M. G., Huang, S. B., Lou, F. S., et al., 2009. Lithospheric Structure and Large-Scale Metallogenic Process in Southeast China Continental Area. *Geology in China*, 36(3): 528—543 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X. Y., Li, Y. H., 2021. Crustal Thicknesses and V_p/V_s Ratios beneath South China Estimated from Receiver Function Analysis and Their Geological Implications. *Chinese Journal of Geophysics*, 64(1): 146—156 (in Chinese with English abstract).

- Yuan, Y.S., Ma, Y.S., Hu, S.B., et al., 2006. Present-Day Geothermal Characteristics in South China. *Chinese Journal of Geophysics*, 49(4): 1118–1126(in Chinese with English abstract).
- Zhang, C.D., 2003. Deduction of Magnetic Characteristics of Lithosphere in China from Results on Satellite and Aeromagnetic Measurements. *Progress in Geophysics*, 18(1): 103–110 (in Chinese with English abstract).
- Zhi, J. L., Liang, Q., Liu, Y. M., et al., 2018. Curie Point Depth Estimates Based on Spectrum Analysis from Aeromagnetic Data in Guangxi Province, China SEG Technical Program Expanded Abstracts 2018. Anaheim, California. Society of Exploration Geophysicists, 14–19. <https://doi.org/10.1190/segam2018-2998449.1>
- Zhang, R.F., Liu, B.S., Luo, S.W., et al., 2017. Discussion of Tectonic Problem in the West and South of Guangxi. *Mineral Resources and Geology*, 31(1): 69–74 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 陈家联, 张毅, 陈超, 2010a. 广西地区卫星重力异常与区域地质特征. *地球物理学进展*, 25(4): 1233–1239.
- 陈家联, 张毅, 陈超, 2010b. 广西地区卫星磁异常与区域地质特征. *工程地球物理学报*, 7(3): 327–332.
- 郭福祥, 1994. 广西大地构造单元. *桂林冶金地质学院学报*, 14(3): 233–243.
- 胡荣国, 赵义来, 蔡永丰, 等, 2020. 广西大厂花岗斑岩黑云母成分特征及其成岩成矿意义. *地球科学*, 45(4): 1213–1226.
- 黄启勋, 2000. 广西若干重大基础地质特征. *广西地质*, 13(3): 3–12.
- 林建辉, 罗允义, 树皋, 等, 2015. 广西区域成矿规律综述及成矿系列划分. *矿床地质*, 34(6): 1270–1294.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等, 2009. 中国大地构造单元划分. *中国地质*, 36(1): 1–28, 255.
- 万天丰, 2013. 新编亚洲大地构造区划图. *中国地质*, 40(5): 1351–1365.
- 许厚泽, 2001. 卫星重力研究: 21 世纪大地测量研究的新热点. *测绘科学*, 26(3): 1–3.
- 徐先兵, 梁承华, 陈家驹, 等, 2021. 南岭构造带基础地质特征与成矿地质背景. *地球科学*: 1–26[2021–03–25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1874.P.20200617.1745.006.html>
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等, 2011. 印度—亚洲碰撞大地构造. *地质学报*, 85(1): 1–33.
- 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 等, 2009. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用. *中国地质*, 36(3): 528–543.
- 杨晓瑜, 李永华, 2021. 中国华南地区地壳厚度与波速比分布特征及其地质意义. *地球物理学报*, 64(1): 146–156.
- 袁玉松, 马永生, 胡圣标, 等, 2006. 中国南方现今地热特征. *地球物理学报*, 49(4): 1118–1126.
- 张昌达, 2003. 由卫星和航空磁测成果推断中国岩石圈的磁性特征. *地球物理学进展*, 18(1): 103–110.
- 张如放, 刘炳胜, 罗寿文, 等, 2017. 桂西、桂南地区大地构造问题探讨. *矿产与地质*, 31(1): 69–74.