第540次学术讨论会·大陆演化与花岗岩研究的变革

大陆演化与花岗岩研究的变革

翟明国^{①②③*}, 张旗^{①③}, 陈国能^④, 王汝成^⑤

① 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

② 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西安 710127;

③ 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室, 北京 100029;

④ 中山大学地球科学与地质工程学院, 广州 510275;

⑤ 南京大学地球科学与工程学院, 南京 210023

* 联系人, E-mail: mgzhai@mail.iggcas.ac.cn

2015-11-12 收稿, 2016-01-04 修回, 2016-01-18 接受, 2016-03-21 网络版发表

摘要 花岗岩是地球岩石圈区别于太阳系其他行星的标志之一,也是地球岩石圈中陆壳区别于洋壳的重要标志. 洋壳形成演化的核心问题是玄武岩,大陆形成演化的核心问题是花岗岩. 洋壳的寿命仅2~3亿年,陆壳的寿命长达40~45亿年. 大陆花岗岩记录了岩石圈形成演化的各种信息,对于人类认知固体地球具有无法替代的作用. 最早的陆壳主要由一类富钠的、以奥长花岗岩-英云闪长岩-花岗闪长岩为主的花岗岩类岩石(TTG)组成. TTG不是早期岩浆海洋结晶分异的产物,也不可能来自地幔岩石的直接熔融. 查明TTG的起因即能揭开大陆形成之谜. 显生宙大陆演化表现为大陆面积增长和大陆克拉通活化两个方面,两者均伴随海量花岗岩的产出,同时伴随有大规模的成矿作用. 花岗岩所凝聚的科学问题是对板块构造理论的巨大挑战,也是固体地球科学理论创新的重大机遇. 花岗岩研究从岩石地球化学层面跃升到陆壳演化层面,是研究思维和理论创新的突破,是21世纪花岗岩研究的重大转折. 第540次香山科学会议就如何推动花岗岩研究层面的跃升问题展开讨论,汇集智慧、凝聚共识,对我国未来5年和更长时间的花岗岩研究进行顶层设计,进一步推动花岗岩与大陆演化、大陆流变学、大陆动力学和热力学等方面的研究进展.

关键词 大陆形成, 陆壳演化, 克拉通活化, 花岗岩, TTG, 成矿作用

洋壳的代表性岩石是玄武岩,陆壳的代表性岩石是花岗岩. 前者的寿命仅为2~3亿年,后者的寿命则长达40多亿年,几乎和已知的地球年龄一样长. 因此,大陆花岗岩的研究对于人类认知固体地球的形成演化规律具有无可替代的作用. 半个多世纪以来,中国花岗岩研究取得了长足的进步,但绝大部分研究局限于地球化学领域. 虽然不少科学家呼吁重视花岗岩的研究,但时至今日,花岗岩研究的重要性仍被大大地低估了.

20世纪60年代兴起的板块构造理论,阐明了作为洋壳标志的玄武岩类岩石的形成-消亡过程,以及

这一过程所引起的动力学效应(岩石圈板块运动与球面海陆格局变化),引起了地球科学一场大变革. 但是,板块构造理论未能解决大陆的形成演化问题. 从20世纪90年代开始,大陆的形成演化在欧美以及中国的地球科学战略规划中都作为核心和前沿领域被提出来,但至今未取得显著的突破. 究其原因,大陆问题的核心并非陆块在球面上位置和形态的变化,而在大陆本身是怎样和如何变化的? 没有大陆,就无所谓大陆离裂、漂移和碰撞问题. 陆壳和洋壳的根本区别是其具有后者所没有或很少有的花岗岩. 花岗岩是大陆形成演化过程的直接产物,只有查清这

引用格式: 翟明国, 张旗, 陈国能, 等. 大陆演化与花岗岩研究的变革. 科学通报, 2016, 61: 1414-1420

Zhai M G, Zhang Q, Chen G N, et al. Adventure on the research of continental evolution and related granite geochemistry (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 1414-1420, doi: 10.1360/N972015-01272

部分岩石的成因,才有可能真正理解大陆的形成演化问题;反之,只有从大陆形成演化的层面,才有可能真正认识作为陆壳标志的花岗岩类的成因。因此,板块登陆遇阻给大陆地质学的理论研究带来了新的机遇和挑战,核心问题是大陆花岗岩的形成和演化问题。我们认为,花岗岩研究从岩石学层面跃升到陆壳演化层面不仅是研究思维的创新,而且是研究理论的创新,对当今大陆地质学乃至整个固体地球科学前沿具有变革性的意义。

花岗岩研究不但关系到陆壳乃至整个固体地球形成演化等重大基础理论问题,还关系到与花岗岩有关的各种矿产资源的寻找与开发问题,后者对于人类生存和全球经济长期可持续发展具有举足轻重的作用。为此,我们建议召开一次香山科学会议,目的是推动花岗岩研究的理论和思维创新,就如何使花岗岩研究从岩石地球化学层面跃迁到陆壳演化层面的问题,汇集智慧、凝聚共识、寻找关键的科学问题,为我国未来5年和更长时间花岗岩研究进行顶层设计。主题为“花岗岩:大陆形成与改造的记录”的第540次香山科学会议于2015年9月23~24日召开。会议着重围绕TTG片麻岩与初始陆壳的形成,显生宙花岗岩与陆壳演化、改造的热力学和动力学过程以及大规模岩浆活动与大规模成矿作用关系等三方面内容展开了讨论。

1 太古宙TTG与大陆的形成

地球是迄今已知的唯一有花岗岩的星球。与地球孪生的月球也具有壳幔核结构。月壳表层主要为玄武岩和斜长岩,其下为辉长岩,辉长岩之下的上月幔主要为纯橄岩(图1(a))。已获得的月球岩石的最老

年龄约为45亿年。

与月陆的岩石不同,地球最早的陆壳岩石是一类富钠的、以奥长花岗岩-英云闪长岩-花岗闪长岩为主的花岗岩类岩石,简称TTG。目前获得的最古老的TTG年龄为4.1 Ga,稍晚于最老的月壳岩石年龄(4.5 Ga)。大规模的TTG岩石不可能来自星球早期岩浆海的结晶分异,因为月球和其他内行星的岩石圈均未发现此类岩石。TTG不可能从地幔橄榄岩类岩石直接熔出,但从地幔熔出的玄武质岩石再次熔融可以产生少量的TTG岩石^[3,4],故一种可能是太古宙的TTG源于玄武质初始地壳的再次熔融。问题是,撞击作用导致月亮或月幔局部熔融而产生的月海岩石(图1(b))主要为玄武岩(图1(c))而非TTG,说明玄武质岩石的再次熔融也难以产生有规模意义的TTG岩石。另一种假说是认为地球在太古宙已存在以绿岩带为代表的古老洋壳,其熔融或经过高级变质产生了以TTG为代表的陆壳^[5]。该假说的困难是,绿岩带与现代洋壳存在结构和成分上的巨大差异^[6,7],且在绿岩带中至今未找到被公认的残留洋壳,TTG中也未找到代表洋壳熔融的残留物^[8];从变质作用角度看,绿岩带大多未变质或只经历了低级变质作用,而以TTG为主的高级区则经历了高温变质作用。在西格陵兰发现有3.8 Ga的TTG片麻岩,并有与其伴生的3.7~3.8 Ga的沉积岩和基性火成岩;沉积岩中代表性的岩石组合是条带状硅铁建造(BIF),它们是在有生物参与氧化条件环境形成的化学沉积岩,说明在3.8 Ga前已有海水的存在并在地质过程中发挥着重要作用。然而,至今为止尚未找到当时存在板块构造的证据,故部分学者提出其形成可能与地幔柱的活动有关^[9]。目前在学术界

图1 月球结构与月海玄武岩。(a) 月球壳-幔结构;(b) 月球正面的月海玄武岩年龄分布^[1];(c) 月海上玄武岩流^[2]

Figure 1 Structure of the moon and the lunar mare basalts. (a) Crust-mantle structure of the moon; (b) the age distribution of lunar mare basalt on the near side of the moon; (c) the lunar mare basalts floods

流行的以现代洋壳重熔形成埃达克岩的模式来解释太古宙TTG的成因仍存在巨大的争论^[3,10-14]. TTG主要存在于太古宙,在太古宙末和元古古代早期,富钾的花岗质岩石大大增加(图2),指示早期陆壳渐趋于成熟,也暗示地壳的演化机制发生了重大变化,不过目前尚无法证实这一现象是否标志板块构造的开始——虽然一些科学家坚信能够找到>2.5 Ga的洋壳^[7,15-22].

综上所述,太古代TTG与早期陆壳的形成是地球科学亟待解决的难题,大陆形成之谜本质上就是TTG成因之谜.

2.5 Ga作为太古宙与元古宙的界限,其中的含义还远远没有被揭示.已发现古元古代早期存在板块构造的痕迹,但比较确定的是从2.0 Ga开始,地球岩石圈演化才进入了类似于显生宙的板块构造体制,开启了新洋壳不断形成和旧洋壳不断消失以及与此相伴随的大陆地壳不断离裂、拼合的过程.

2 显生宙花岗岩与大陆的增生和改造

显生宙大陆演化主要表现在两个方面:一是大陆的横向增生,二是大陆的垂向分异(包括大陆的减薄加厚以及克拉通活化或破坏),两者可能均与板块活动有关(图3).洋盆关闭导致陆缘或陆间造山带的形成,是显生宙大陆增长的基本形式.新陆壳形成的标志是伴随着造山作用而产生大量的花岗岩.换言之,大陆地壳增长的同时,伴随着大量的岩浆活动,所以显生宙不同时期的造山带(如古生代的中亚造山带、北美的Appalachian造山带和欧洲的Caledonian造

山带、中-新生代的特提斯带和环太平洋带等)同时也是相应时期花岗岩带的展布区^[24].

大陆地壳的改造作用也主要通过强烈的构造-岩浆作用完成,它表现为陈国达^[26,27]所揭示的“地台活化”理论.中国东部中生代独特的大规模陆内变形和强烈岩浆作用的时空分布与演变过程的研究^[28,29],是认识大陆再造的地球热动力学机制,理解板块作用与克拉通活化关系的重要窗口^[24].海量花岗岩浆的生成,改变了大陆的壳层结构及其稳定性,导致了大陆克拉通的活化或破坏.

尽管不少学者认为花岗岩的形成与地幔作用有关^[30,31],但这种认识未得到地质观察的支持.大洋钻探所获得的、毋庸置疑源于地幔的大洋岩石均为铁镁质岩浆岩,证实现代地幔过程,不论是地幔岩浆结晶分异亦或地幔部分熔融,均没有产生有规模意义的花岗岩的可能性.实验岩石学也证明,花岗质岩浆不可能来自俯冲洋壳本身或其上沉积物的熔融^[32].因此,花岗岩主要来自大陆地壳底部深熔岩石的部分熔融^[33,34].

花岗岩的形成属于岩浆过程,尽管在很多情况下观察到花岗岩与超变质作用或混合岩化作用存在某种关联,但热无疑是岩浆形成的必要条件.问题是什么作用造成陆壳的某些部位(包括下、中、上陆壳)的岩石发生熔融,从而生成大规模的花岗质岩浆?花岗岩浆的存在是壳内温度升高的结果还是原因?深熔作用产生的岩浆如何到达地壳浅部?大规模的花岗岩浆如何在充满岩石的浅部地壳获得其所需要

图2 全球大陆岩石的锆石初始铪(Hf)同位素数据与U-Pb年龄图^[23]

Figure 2 Zircon initial Hf isotope and U-Pb age data of the global continental rocks^[23]

图3 全球大陆克拉通与造山带分布略图^[25]

Figure 3 Sketch map of global continental cratons and orogenic belts^[25]

的巨大空间？海量岩浆存在于地壳浅部对大陆地壳重组、变形和地表环境产生何种影响等等，这些长期争论的重大科学问题，关系到大陆地质的理论基础，同时也是对板块构造理论是否能够登陆的巨大挑战。

大规模岩浆活动和海量花岗岩的产出所引起的热效应，以及岩浆岩自身的流变性质对大陆的影响至今仍被严重低估，甚至被大部分研究者忽略。如何从花岗岩的研究入手，从热动力学而非仅从力学或运动学角度揭示大陆浅层地壳变形与深层岩浆演化的关系，是认识显生宙大陆演化和大陆改造极为重要的一环。

综上所述，显生宙大陆演化最重要和最困难的科学问题仍然是花岗岩问题。花岗岩所凝聚的科学问题，是板块构造理论上的最大障碍，为当今大陆地质学乃至固体地球科学理论研究所面临的巨大挑战，是理论创新的制高点。花岗岩从岩石学层面跃升到陆壳演化层面是花岗岩研究设想的巨大变革，它极大地丰富了花岗岩研究的科学内涵，有可能引起大陆地质革命性的转变和“超越板块构造”的理论突破。

3 大陆花岗岩与大陆成矿作用

大陆形成演化的本质是大陆花岗岩的形成演化，而花岗岩的形成演化过程通常伴随成矿元素的活化、迁移与富集。大规模的岩浆活动必然导致巨量金属成矿元素的堆积。因此，研究花岗岩与成矿作用的关

系对于我国国民经济建设长期可持续发展的资源保障具有重大意义。

大陆花岗岩形成与“大陆成矿作用”的关系已成为最近十多年来学术界关注的焦点。迄今为止人类所探明，特别是已经开发的矿床，绝大多数都在大陆上。研究发现，在地球45亿年的演化进程中，一些金属矿床类型及矿种只形成和分布于特定的地质时期，并在地球演化进程中不再重复出现，而且矿种从比较单一变得复杂多样。我们把这种在地球一定历史时期形成的一定种类矿床类型(或矿种)称之为成矿的时控性(图4)^[23]。在成矿作用中，地壳活化与花岗岩活动起到了至关重要的作用，涉及到诸多矿产。人类开采利用的固体矿产资源中90%以上来自大陆地壳，如钨、锡、金、铜、钼、铌、钽和稀土等重要资源主要与花岗岩有关。这些矿床的成矿元素来自花岗岩本身还是来自其围岩和源岩？为什么花岗岩的形成过程可以导致这些在地壳中高度分散的元素聚集堆积？大规模岩浆活动与大规模成矿作用有关已是不争的事实，但原因是什么？成岩与成矿是什么关系？岩浆、流体与成矿之间是什么关系？这些都是花岗岩与成矿关系研究中争论颇多和难以完美解释的问题，也是今后研究中需要特别关注的问题。

4 总结与展望

在科学探索中，新现象的发现通常依赖于观测

图4 华北克拉通主要构造-岩浆事件及重要的成矿时代关系示意图^[23]

Figure 4 Major tectonic-magmatic events and important metallogenic epoch relationship diagram of North China Craton^[23]

技术或手段的发展,而自然规律的发现则依赖于逻辑思维的创新.花岗岩是地球岩石圈区别于太阳系内其他行星岩石圈的标志,也是地球中大陆地壳区别于大洋地壳的标志.没有花岗岩就没有大陆地壳,故在某种意义上,大陆的形成演化就是组成大陆地壳重要部分的花岗岩的形成演化.推动花岗岩研究从岩石地球化学层面跃升到大陆演化层面,是花岗岩研究思维上的重大变革.50多年前,大洋玄武岩类岩石的研究从岩石学范畴跳跃到洋壳演化范畴,产生了板块构造学说,阐明了地幔过程能量流和物质流的运动方式及其在球面上引起的环境效应(大洋形成、消亡和大陆的聚与散),引起了地球科学的一场大变革.但是,以大洋玄武岩为核心的板块理论未能包容大陆花岗岩问题,此为板块理论登陆遇阻的根本原因.花岗岩作为大陆地壳形成演化的产物,花岗岩研究从岩石地球化学层面到陆壳演化层面的跃迁,必会导致固体地球科学再一次的突破与变革.我们必须抓住机遇,变革思维,将花岗岩凝聚的科学问题与大陆的形成演化、大陆流变学、大陆动力学和大陆热力学结合起来,推动地质科学研究跃升到新的台阶.中国是花岗岩极为发育的国家,中国在花岗岩和

陆壳形成演化理论方面的研究,也必然能够做出更大的贡献.

以往的花岗岩研究已经积累了海量的数据.花岗岩如何应用大数据技术是一个亟待探索的问题.大数据是当今的热门话题.大数据的特点主要不仅是处理的数据量大,更重要的是数据处理上的思维创新.大数据带来的这场变革,不但会导致地球科学前所未有的数据融合,同时会为地球科学研究方法和理论创新提供前所未有的数据支持,它所带来的效益可能会远远超出我们的预料.从目前来说,如何将长期以来对花岗岩各种观察,包括从空天遥感到野外地表观察,从钻探到深部的地球物理探测,从岩石的显微镜下观察到高精度的元素和同位素分析等所积累海量数据进行挖掘,是花岗岩与陆壳演化研究中极为重要的课题,可能会取得令人瞩目的成果.简而言之,目前固体地球科学研究正处于板块学说之后的一个重要转折点,而当今也是人类整体科学发展的重要转折点.抓住转折点,我们将创造历史.花岗岩研究思维的突破和DT时代带来的变革,必将改变固体地球科学的研究现状,引起固体地球科学理论前所未有的变革.

参考文献

- 1 Laneuville M, Wiczorek M A, Breuer M, et al. Asymmetric thermal evolution of the Moon. *J Geophys Res*, 2013, 118: 1435–1452
- 2 Schaber G G. Lava flows in Mare Imbrium: Geologic evolution from Apollo orbital photography. *Proc Lunar Planet Sci Conf*, 1973, 4: 73–92
- 3 Drummond M S, Defant M J. A model for trondhjemitic-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparison. *J Geophys Res*, 1990, 95: 21503–21521
- 4 Martin H. The mechanisms of petrogenesis of the Archean continental crust, comparison with modern processes. *Lithos*, 1993, 30: 373–388
- 5 Kusky T M. What, if Anything, Have we Learned About Precambrian Ophiolites and Early Earth Processes, Chapter 22. In: Kusky T M, ed. *Precambrian Ophiolites and Related Rocks, Developments in Precambrian Geology* 13. Amsterdam: Elsevier, 2004. 727–737

- 6 Bickle M J, Nisbet E G, Martin A. Archean greenstone belts are not oceanic crust. *J Geol*, 1995, 102: 121–138
- 7 Hamilton W B. Archean magmatism and deformation were not products of plate tectonics. *Precambrian Res*, 1998, 91: 143–179
- 8 Zhai M G. Multi-stage crustal growth and cratonization of the North China Craton. *Geosci Front*, 2014, 5: 457–469
- 9 Condie K C. *Earth Plumes and Their Record in Earth History*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 305
- 10 Martin H. Adakitic magmas: Modern analogues of Archean granitoids. *Lithos*, 1999, 46: 411–429
- 11 Condie K C. TTGs and adakites: Are they both slab melts? *Lithos*, 2005, 80: 33–44
- 12 Martin H, Smithies R H, Rapp R, et al. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: Relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*, 2005, 79: 1–24
- 13 Naqvi S M, Mohan M R, Prathap J G R, et al. Adakite-TTG connection and fate of Mesoarchean basaltic crust of Holenarsipur Nucleus, Dharwar Craton, India. *J Asian Earth Sci*, 2009, 35: 416–434
- 14 Samsonov A V, Bogina M M, Bibikova E V, et al. The relationship between adakitic, calc-alkaline volcanic rocks and TTGs: Implications for the tectonic setting of the Karelian greenstone belts, Baltic Shield. *Lithos*, 2005, 79: 83–106
- 15 Davies G F. On the emergence of plate tectonics. *Geology*, 1992, 20: 963–966
- 16 Cocoran P L, Mueller W U, Kusky T M. Inferred ophiolites in the Archean Slave craton. In: Kusky T M, ed. *Precambrian Ophiolites and Related Rocks*. Developments in Precambrian Geology 13. Amsterdam: Elsevier, 2004. 363–404
- 17 Condie K C, Kröner A. When did plate tectonics begin? Evidence from the geologic record. *Geol Soc Amer Spec Pap*, 2008, 440: 281–294
- 18 Hofmann A, Kusky T M. The Belingwe greenstone belt: Ensialic or oceanic? In: Kusky T M, ed. *Precambrian Ophiolites and Related Rocks*. Developments in Precambrian Geology 13. Amsterdam: Elsevier, 2004. 487–538
- 19 Kusky T M, Li J H, Tucker R D. The Archean Dongwanzi ophiolite complex, North China Craton: 2.505-billion-year-old oceanic crust and mantle. *Science*, 2001, 292: 1142–1145
- 20 Stern R J. The start time and mechanism of plate tectonics: Theoretical and empirical exploration. *Chin Sci Bull*, 2007, 52: 489–501
- 21 Zhai M G, Zhao G C, Zhang Q, et al. Is the Dongwanzi complex an Archean ophiolite? *Science*, 2002, 295: 923
- 22 Zhang Q, Ni Z Y, Zhai M G. Comment on Archean ophiolite in eastern Hebei (in Chinese). *Earth Sci Front*, 2003, 10: 429–437 [张旗, 倪志耀, 翟明国. 关于冀东太古宙蛇绿岩的几个问题. *地学前缘*, 2003, 10: 429–437]
- 23 Zhai M G, Santosh M. Metallogeny of the North China Craton: Link with secular changes in the evolving Earth. *Gondwana Res*, 2013, 24: 275–297
- 24 Chen G N, Chen Z, Chen X, et al. Crustal melting and its relationship with continental orogeny (in Chinese). *Geotecton Metallogen*, 2015, 3: 1–8 [陈国能, 陈震, 陈雄, 等. 壳内熔融与大陆造山. *大地构造与成矿学*, 2015, 3: 1–8]
- 25 Che Z C, Luo J T, Liu L. *Regional Tectonic Setting of China and its Adjacent Region* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2011 [车自成, 罗金涛, 刘良. 中国及其邻区区域大地构造. 北京: 科学出版社, 2011]
- 26 Chan K T. Examples of “Activiing Region” in the Chinese platform with special reference to the “Cathaysia” problem (in Chinese). *Acta Geol Sin*, 1956, 36: 239–272 [陈国达. 中国地台“活化区”的实例并着重讨论“华夏古陆”问题. *地质学报*, 1956, 36: 239–272]
- 27 Chan K T. Geodepression region-the third basic tectonic unit of crust (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 1959, 4: 94–96 [陈国达. 地壳的第三基本构造单元—地洼区. *科学通报*, 1959, 4: 94–96]
- 28 Wang D Z, Shen W Z. Genesis of granitoids and crustal evolution in southeast China (in Chinese). *Earth Sci Front*, 2003, 10: 209–220 [王德滋, 沈渭洲. 中国东南部花岗岩成因与地壳演化. *地学前缘*, 2003, 10: 209–220]
- 29 Zhu R X, Xu Y G, Zhu G, et al. Destruction of the North China Craton. *Sci China Earth Sci*, 2012, 55: 1565–1587 [朱日祥, 徐义刚, 朱光, 等. 华北克拉通破坏. *中国科学: 地球科学*, 2012, 42: 1135–1159]
- 30 Kemp A I S, Hawkesworth C J, Paterson B A, et al. Episodic growth of the Gondwana supercontinent from hafnium and oxygen isotopes in zircon. *Nature*, 2006, 439: 580–583
- 31 Yang J H, Wu F Y, Wilde S A, et al. Tracing magma mixing in granite genesis: *In situ* U-Pb dating and Hf-isotope analysis of zircons. *Contrib Mineral Petrol*, 2007, 153: 177–190
- 32 Wyllie P J, Huang W L, Stern C R, et al. Granitic magmas: Possible and impossible sources, water contents, and crystallization sequences. *Can J Earth Sci*, 1976, 13: 1007–1019
- 33 Brown M. Melting of the continental crust during orogenesis: The thermal, rheological, and compositional consequences of melt transport from lower to upper continental crust. *Can J Earth Sci*, 2010, 47: 655–694
- 34 Chen G N, Grapes R. *Granite Genesis: In-situ Melting and Crustal Evolution*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2007. 1–278

Adventure on the research of continental evolution and related granite geochemistry

ZHAI MingGuo^{1,2,3}, ZHANG Qi^{1,3}, CHEN GuoNeng⁴ & WANG RuCheng⁵

¹ Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

² State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710127, China;

³ State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

⁴ School of Earth Sciences and Geological Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

⁵ School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China

The unique of the lithosphere in the earth is that it contains large amounts of granite, which does not occur elsewhere in the solar system. The continental crust of the earth is mainly composed of granite, whereas the oceanic crust is dominated by basalt. Unlike the short-lived oceanic crust which may have only existed in 200 to 300 Ma on the earth, the continental crust can survive in 4000 to 4500 Ma. The granite in the earth thus may record the history of the formation and evolution of the continental lithosphere of the Earth. The earliest continental crust is composed of tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) suite, however. TTG is neither a product of fractionation of magma ocean, nor of partial melting of the mantle. The origin of TTG is thus crucial for understanding the origin of continental crust. Extensive continental growth and cratonization occurred in Phanerozoic, which was associated with massive granite production and mineralization. All these issues are difficult to be explained by the current theory of plate tectonics. The answers for the key issues on the granite may trigger the new theory of solid earth sciences. Reworking of continental crust is related to intensive tectonothermal events in the earth as proposed by Prof. Guoda Chen and his “platform activation” model. Mesozoic large-scaled intracontinental deformation and extensive magmatism in East China may provide an ideal natural laboratory to study the dynamic mechanism of the continental reactivation and to understand plate tectonics and cratonization. Presence of voluminous granite may change the internal structure of the earth and the stability of continental lithosphere, leading to the craton re-activation or destruction. However, it remains unclear how these processes worked in the history of Phanerozoic continental crust. New theory rather than classic plate tectonics is desired to establish to explain the granite issues. The change from routine granite geochemistry to continental growth will make a real breakthrough in the theory of solid earth sciences in the 21st century. The 540th Xiangshan conference on the key issues of granite research is a milestone to prompt the research of granite and continental evolution, rheology and thermodynamics in the next five years in China.

formation of continental crust, evolution of continental crust, reworking of craton, granite, TTG, metallogeny

doi: 10.1360/N972015-01272