

# 中国区域大地构造学的研究展望

葛肖虹<sup>1,2</sup> 马文璞<sup>2</sup> 刘俊来<sup>2</sup> 任收麦<sup>3</sup> 袁四化<sup>4</sup>

(1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;  
3. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100029; 4. 防灾科技学院, 河北 三河 065201)

**摘要:** 中国区域大地构造学是对中国区域地质调查成果的理论概括, 回答所研究地区的地球动力学环境及其在地质历史上的演变。中国占据亚洲东部环太平洋与特提斯构造域结合部位, 在过去 4 亿年期间由具有不同地壳结构、生物地理区系和演化历史的地质体镶嵌拼合而成, 具有复式大陆构造的典型特征。中国的区域构造研究有可能在如下方面对全球构造理论作出自己的贡献: (1) 与北美、非洲等巨型克拉通相比, 中国地台的规模小、刚性化程度低、盖层变形强烈, 这种相对高的构造活动性正好提供了有关大陆生长和演化规律的窗口; (2) 复式大陆中并列的陆块来自不同源区, 意味着中国区域构造的“世界性”, 因此开展大区域古地磁、古生物-地理区、古沉积、古构造与古成矿作用与环境复位的综合研究, 厘清中国各陆块不同地质历史时期在全球构造中的位置, 必然对完善全球构造演化做出贡献; (3) 中国是世界上造山带最多的国家之一, 青藏高原和台湾海岸山脉是正在进行中的大陆碰撞和弧-陆碰撞场所, 从极为丰富的实例中总结出古、新造山带的类型和基本演化规律, 可以丰富全球大陆增生的理论; (4) 古特提斯洋从古亚洲退却的过程与路径是迄今尚未解决而长期受人关注的科学问题; (5) 中国广泛存在的中-新生代陆内变形与盆山构造-地貌的形成, 应该是大陆动力学深入研究的命题; (6) 内、外动力地质作用对环境变化的影响扩展了区域构造研究的领域。面对新世纪科学技术的发展, 学科交叉和新技术应用对地学研究的促进, 将迎来中国区域大地构造学研究蓬勃发展的新前景。

**关键词:** 区域大地构造学; 全球构造理论; 研究展望; 学科交叉

**中图分类号:** P541      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2013)01-0061-13

中国区域大地构造学是对中国区域地质调查成果的理论概括, 回答所研究地区的地球动力学环境及其在地质历史上的演变。区域大地构造的研究水平受三个方面的制约: 区域地质调查程度、工作方法与技术装备、以及理论认识的发展。至 21 世纪初, 中国大陆 70% 部分的 1:200 000 综合区调及航空物探和化探测量已基本完成, 各省区第一轮的区域地质志早已正式出版, 新一轮区域地质志正在编写, 新一代 1:250 000 地质图的编制已经全面铺开, 开展这方面的工作已经有了坚实的物质基础; 现有的区域构造解析原理和各种地球物理、地球化学测试技术已能满足绝大多数实际工作的需要。针对工作区

的具体特点, 选择正确的技术路线和恰当的取样和测试方法, 决定性地取决于工作人员的科学素质; 地质基础知识的广博程度、综合运用能力以及所掌握的理论水平。中国在 20 世纪 70 年代以前出版的地质图中, 一些接触关系出露不好的构造异地体往往被“自发的”表现成新、老地层之间的不整合, 因为那时薄皮叠瓦逆冲系的概念还未提出, 人们还不善于根据区域构造样式的规律去推断这类构造的可能存在。不认识造山带与克拉通的本质差别, 把在克拉通应用的测制地层标准剖面, 划分群、组、段, 并逐步对比的方法也硬性推广到造山带的研究中, 把构造协调化了的岩片、变形变质岩体甚至混杂堆积都作为

**收稿日期:** 2012-09-19; **改回日期:** 2013-02-06

**基金项目:** 普通高等教育“十一五”国家级规划教材(B070601)资助。

**作者简介:** 葛肖虹, 男, 1938 年生, 教授, 博士生导师, 构造地质学专业, 长期从事大地构造学、石油地质学科研与教学工作;

E-mail: gxhbj2004@yahoo.com.cn.

地层处理,从而导致认识上的错误,走了很多弯路。这些都提示了理论与工作方法的重要。

全球地壳的结构和发展很不均一,中国占据亚洲东部环太平洋构造域与特提斯构造域的结合部位,疆域辽阔、构造类型多样、演化历史复杂,有着自身的特色。与世界其他地区相比,中国的区域构造有哪些方面的特色,使得有可能在地球科学理论上做出自己的贡献?区域构造上的这些特点在矿产资源分布和灾害地质防治方面又有什么含义?本文拟对此做简短的探讨。

## 1 区域大地构造理论的发展

20 世纪 60 年代板块构造理论的出现改变了人们的地球观,使区域大地构造研究出现了一次质的飞跃。板块构造有关岩石圈刚性板块性质、划分和运动的认识在大洋地区总体上已得到证实;依照板块构造理论对洋、陆相互作用以及大陆地质的重新解释已经取得丰硕的成果。但是认识是没有穷尽的。经过近四十年的实践,人们也愈来愈多地发现一些经典板块构造学说不能解释或没有提到的现象,如大陆弥散而宽广的陆内变形说明它不符合刚性岩石圈板块的概念,而这里正是人类生存繁衍的场所并保存着地球绝大部分的历史记录;板内构造作用,无论是岩浆活动还是克拉通内盆地的成因都还没有成熟的答案;像峨眉山玄武岩或印度德干高原岩流那样大规模灾变性的岩浆活动也见于大洋底,如西太平洋的翁通—爪哇(Ontong-Java)海台规模与今天的南极洲冰盖相当。这些大火成岩省源自地幔柱,其深度一般认为可达核—幔边界。可是地幔柱和热点等概念未见于经典的板块构造理论,它们在地球演化中的意义也还不清楚。此外,板块构造理论在深度上只涉及岩石圈,时间上大体限于元古宙以来——地球历史的不到一半。驱动岩石圈板块在地球表面运动的原因和动力源还没有准确的答案。因此哈因 1996 年就提出:“尽管它在阐述岩石圈的发展中曾取得巨大的成功,板块构造还不能看成是真正有关地球演化的全球理论”<sup>[1]</sup>。

20 世纪后半叶是科学技术加速发展的五十年,以计算机为核心的新生产力的出现以及微电子技术向各行业的渗透正前所未有地改变着整个社会的面貌。二次世界大战以来超过半个世纪的和平环境也促进了各国经济和文化的交流,包括地球科学在内

的国际合作极大地推动了相应学科的发展。我们正面临着进入国际社会后来自各方面的挑战。由于科学技术的进步,矿产资源的相对消耗量在减少;另一方面工业发展、人口增加却对自然环境产生了巨大的压力。地球科学因此也在从保障人类社会资源和能源的需要和减轻自然灾害的传统功能,逐步向保护和改善生态环境、达到人与自然协调、可持续发展的目标转移;技术科学的发展及其向地质学的渗透使我们能够开展 20 世纪 60—70 年代尚难以进入的深部地质和星际地质研究,探讨地磁场的成因、地幔对流的能源以及对其他类地天体的微生物取样等。对我国的大陆地质研究而言,加强那些对解决全球问题有典型意义的课题,如古特提斯洋在古亚洲特别是中国境内退却的路径;青藏高原的形成;高原隆升、全球变冷和季风演变三者的因果联系;大别造山带山根出露的机制和下地壳组分及其物理性状等的研究可能成为趋势;新能源如高原和深海干冰(碳氢水合物)、来自地幔气体的无机成因油气、页岩气、沉积铀矿的开发将提上日程。它们有可能成为 21 世纪地球科学新的生长点。

## 2 中国区域大地构造的基本特征

都城秋穗(1982)编制的世界大地构造略图(图 1)<sup>[2]</sup>,描绘了全球的大地构造概况。从中可以看出,除亚洲以外的各大洲都是由单个前寒武纪克拉通或其一部分组成,即构造上都属于单式大陆。如包括非洲—阿拉伯半岛、印—巴次大陆、澳大利亚、南美和南极洲在内的南半球诸陆是统一的冈瓦纳古陆的组成部分,魏格纳早在 20 世纪初即论证了它的存在和范围。这个超级大陆的西部边缘沿南美洲的安第斯山脉伸向南极半岛;东缘在澳大利亚东部的塔斯曼造山带;北面以阿尔卑斯—喜马拉雅造山带为界与劳亚大陆邻接,内部为一整体。北美大陆的中心是以加拿大—格陵兰地盾为核的地台,科迪勒拉和阿帕拉契亚造山带分别围绕它的西、东两侧分布,造山带的延伸方向与大陆边缘平行。欧洲则以俄罗斯地台为中心,加里东和乌拉尔造山带分别围绕它的两侧分布。此类单式大陆的主体部分是巨大的前寒武纪克拉通,地貌上表现为平原,山脉围绕其周边分布。

与此成对照,各大陆中规模最大的亚洲却是一个年轻的复式大陆,除北方的西伯利亚克拉通以外,大陆的主体部分是在过去 4 亿年期间由大小不等的

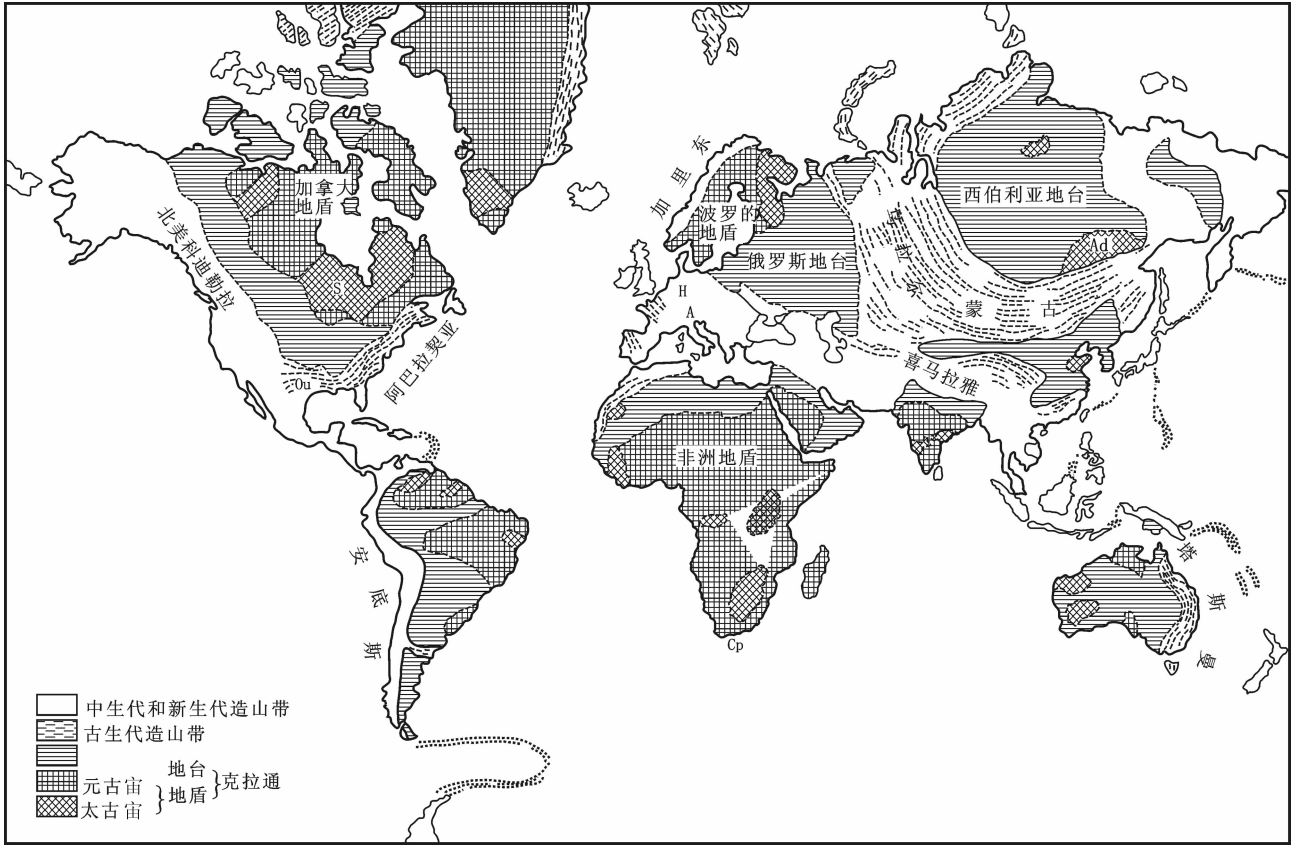


图 1 世界大地构造略图<sup>[1]</sup>  
 Fig.1 Sketch geotectonic map of the world<sup>[1]</sup>

陆块及其边缘楔体镶嵌拼合而成。在地貌上也表现为“多中心”，山结位于大陆内部，如帕米尔。

中国具有上述亚洲复式大陆构造的典型特征，由具有不同地壳结构、生物地理区系和演化历史的中朝、扬子、西域（塔里木—柴达木—阿拉善）、华夏及准噶尔—吐哈、佳木斯—松嫩等陆块以及喜马拉雅、阿尔泰和兴凯等印度、西伯利亚和古太平洋的边缘地质体组成。古地磁资料和地球化学、生物古地理的亲缘关系都提示它们各有自己的发展历史并来自不同的源区，是在显生宙期间逐步就位的。McElhinny(1981)根据当时已有的古地磁资料，提出了组成亚洲大陆各陆块的拼接顺序是：“二叠纪—三叠纪时西伯利亚与哈萨克斯坦拼接，然后一起沿乌拉尔与欧洲碰撞。接着是西伯利亚以南和以东各个地块的持续增生，而以印度与亚洲新生代初的对接达到顶点”<sup>[2]</sup>；Metcalf(1996)提出包括中国在内的东亚和东南亚对于中、北亚(西伯利亚和哈萨克斯坦)而言是外来的，都是直接或间接来自冈瓦纳，它们从南大陆裂离、运移和拼接到

亚洲的历史从泥盆纪持续到白垩纪<sup>[3]</sup>；Li Zhengxiang(1997)<sup>[4]</sup>、Hoffman(1991)<sup>[5]</sup>、Powell(2002)<sup>[6]</sup>等再造了中朝、扬子和塔里木三大陆块新元古代时在罗迪尼亚超级大陆中的位置(图 2)，尽管由于资料的不同中朝、扬子的位置各异。

这可能是中国大陆在结构上和演化上区别于世界上多数地区的一个基本特点。由此基本点出发，可以得出一系列有关中国区域大地构造特征的推论与研究展望，现就其中的几个方面略作展开。

(1)与北美、非洲等地的巨型前寒武纪克拉通相比，中国地台的规模小、刚性化程度低、盖层变形强烈。以规模最大的中朝地台而论，其面积也只有俄罗斯地台的 1/5 和北美地台的 1/12.5；如果再把位于这些地台之间的天山—兴蒙、秦岭—大别等造山带展开，恢复到其原有的规模，那么上述地台就会象散布在浩瀚大洋中的海台。它们的发展会强烈受到周边活动带的影响。所以黄汲清把中国所有的地台都称为“准地台”以区别北美地台等的“正地台”，来表

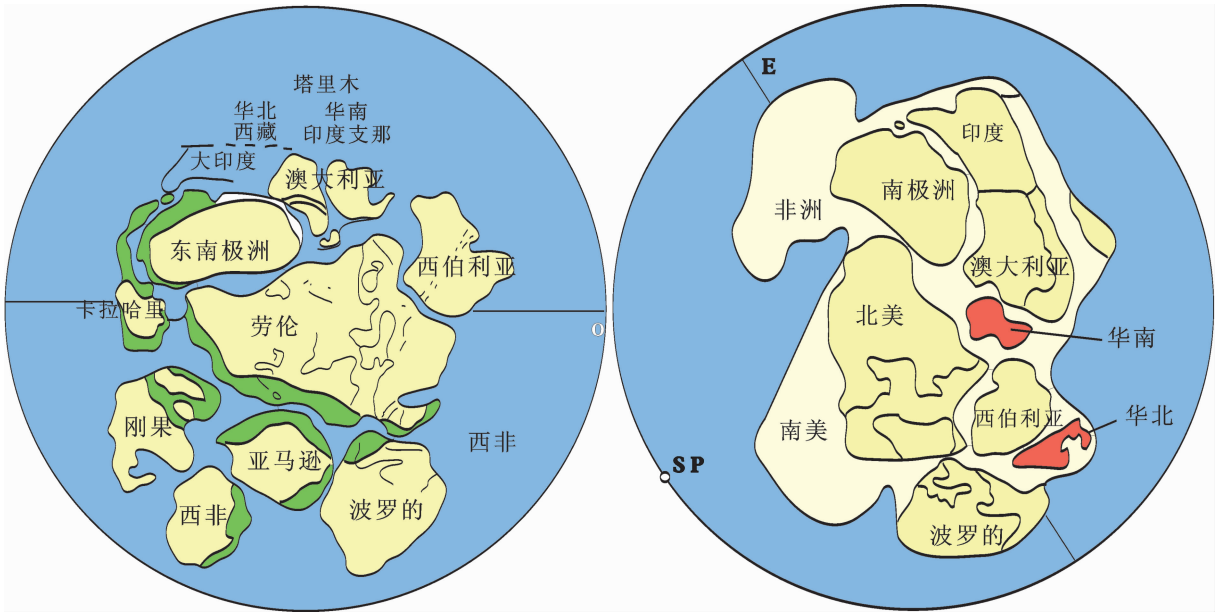
图2 Rodinia大陆重建模式图<sup>[6-7]</sup>

Fig.2 Model of Rodinia continent reconstruction

征它们的活动性。中国所有地方出露的太古宙基底几乎全部遭受了高级变质作用而成角闪岩至麻粒岩相的深变质杂岩,既没有见到象南非、北美那样原岩面貌还清楚保留,未见到低变质的绿岩-花岗岩和含金、铀砾岩等沉积岩组合;也没有象西澳大利亚那样还保存有老到44亿年冥古代的岩石和反映那时已有陆地出现的角度不整合<sup>[8]</sup>。中国地台的盖层厚度大,后期还出现类似于周围造山带的强烈构造变形和岩浆活动。这些都提示它相对强烈的构造活动性。中国缺乏一些在稳定构造环境下形成的矿产,如浅水碎屑岩建造的哈默斯利式富铁矿、大型层状铬铁矿、金刚石、含金铀砾岩等。可是另一方面,一些与造山变形、深成活动有关的稀有元素矿床在中国却是得天独厚的。可能就与这种相对强的构造活动性有关。研究造成这种现象的原因,正好提供了了解有关大陆生长和演化规律的窗口。

(2) 复式或拼合大陆的另一层含义是现在空间上并列的陆块原来自世界不同部分。例如准噶尔地块属于哈萨克斯坦板块;中朝(华北)在元古宙、寒武纪—奥陶纪时临近北美克拉通;而扬子、华夏、西域地台则与西喜马拉雅、伊朗在一起挨着澳大利亚北部<sup>[9]</sup>,保留有600~500 Ma最终形成冈瓦纳大陆的“泛非事件”信息。这使得中国的区域地质具有了更大的“世界性”。由于缺乏大型克拉通,在包括魏格纳、C.R.

Scotese方案在内的各种全球大陆再造中<sup>[10]</sup>,中国或者没有自己的位置,或者处于“天涯海角”。

从现有资料来看(图3),中国和亚洲东部的一些陆块并不属于晚古生代—早中生代的泛大陆(Pangaea),因之它们的来龙去脉和源地分析可以丰富这方面的已有资料,特别是有助于查明太平洋在晚中生代以前的性质和历史。在世界各大洋中,太平洋的历史和成因是唯一存在激烈争论的最大洋盆。一种意见认为<sup>[12-14]</sup>,太平洋是个古老的洋盆,至少自显生宙以来就在同一个地方并且位于大致相同的边界以内;另一些学者<sup>[15-17]</sup>提出了太平洋古陆的概念,认为北美西部和亚洲东部大量的陆块和移置地体就是其裂解的产物。从现代西太平洋的岛海面貌、新生代早期古南海洋盆的演化、晚中生代日本—琉球—巴拉望洋以及晚古生代亚洲大陆东缘古洋盆的存在等零星资料看,目前太平洋所占据地区曾经有过非常复杂的历史。对中国东部诸陆块和亚洲大陆边缘历史的追溯将有助于解决这一问题。

不同陆块来自不同的源区意味着中国区域构造的“世界性”。这不仅提示在国土范围内就可以研究和对比其他构造域;更重要的是,提升了中国在全球古大陆再造中的份量。李正祥(1995)、杨振宇(2004)等对扬子地台在罗迪尼亚大陆中位置的研究就是一个实例<sup>[18,19]</sup>。杨振宇根据新元古代—志留纪的古地磁

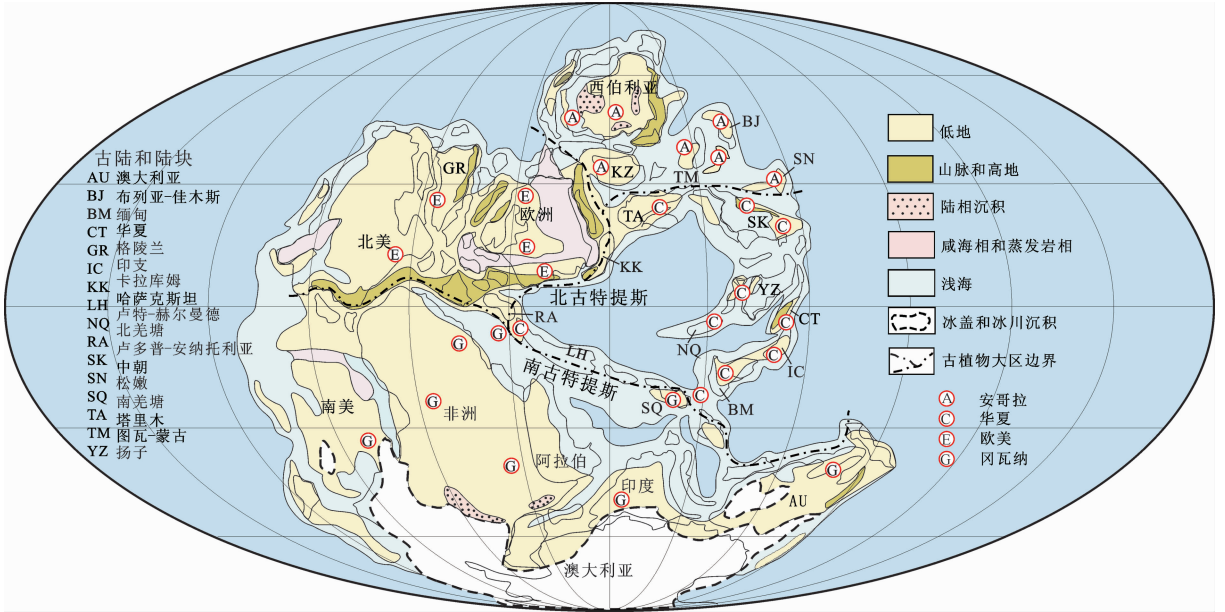


图 3 二叠纪中期世界古大陆再造图<sup>[11]</sup>

Fig.3 Reconstruction map of the Middle-Permian paleo-continents<sup>[11]</sup>

极拟合重建发现扬子地台当时应位于澳大利亚陆块的西北部,属于东冈瓦纳大陆<sup>[19]</sup>。同样,中朝地台中元古代期间的归属可能与北美(劳伦)及西伯利亚克拉通相连,以及它只有南部大陆边缘保存完整,“内蒙地轴”以北的部分已经裂解出去。复原陆块的亲缘,查清它们“丢失”的部分,无疑将极大地深化我们对洲一级构造演化的理解。

在区域成矿预测上,共同的成矿作用只有当地块拼接在一起以后才会发生,在那以前无论是成矿规律还是构造发展都应与其源区相匹配,因此查明地质历史期间不同亲缘地质体的排列组合这类基础性的研究,也具有现实意义和经济价值。20世纪70年代围绕寻找海南岛石碌式大型富铁矿在大陆上进行大面积区域地质调查就有过教训。海南岛著名的石碌富铁矿,从大地构造背景上看,应该属于冈瓦纳陆块陆缘背景的产物。1975—1977年由国家地质总局、冶金工业部和中国科学院共同组织有关高等院校及科研单位参加,历时两年多的“富铁大会战”,地质部门投入勘探力量最高时达到8万余人,开动钻机800余台;冶金地质部门最高时约5万余人,开动钻机490余台。然而在大陆上却没有找到海南石碌

式大型富铁矿,使这次“富铁大会战”无果而终<sup>①</sup>。这是不注意基础地质研究,不考虑大地构造背景,盲目开展找矿工作导致失误的一个典型教训。

20世纪40年代由谢家荣、潘钟祥(1941)提出的“陆相生油理论”冲破西方“海相生油,陆相贫油”的理论羁绊,指导了中国近一个世纪陆上的油气勘探。但是什么样的陆相盆地更有利于成油?几十年来的勘探实践证明了松辽和塔里木—柴达木盆地目前是中国陆上最有油气潜力的盆地,早—中白垩世时松辽和滨海相的哈巴罗夫斯克是统一的原型盆地;古近纪期间塔里木盆地西南是新特提斯洋北部的滨海海湾,柴达木西部与它相通成为联通潟湖盆地。因此,“近海陆相盆地”的成油与勘探理论值得关注。

综上所述,开展大区域古地磁、古生物—地理区、古沉积、古构造与古成矿作用复位的综合研究,厘清中国各陆块不同地质历史时期在全球构造中的位置,应该是中国区域构造工作者未来面临的一个不可忽视的前沿研究命题。

(3)一个复式大陆不同源区诸地台或地块的并列意味着其间众多造山带的存在。

中国大概是世界上造山带最多的国家之一,不

① 陈克强,坚持在改革中做好基础地质调查工作(中国地质调查局研讨会上的发言),2009。

仅成因复杂,时代跨度也大,既有前寒武纪的,如五台—滹沱造山带;也有显生宙不同阶段生成,甚至在正在成长中的。所以 Sengor 1985 年就说中国是研究大陆碰撞和造山拼贴演化的理想场所<sup>[20]</sup>。因为这里有极为多样不同演化阶段的造山带。像天山—兴蒙或秦岭—昆仑这样的造山带都是包括众多小洋盆、岛弧和陆块的复杂体系,并经历了从大陆裂解、洋壳在其间生成、被动陆缘转化为活动陆缘、不同极性的前弧和弧后盆地消减、弧—陆和大陆碰撞,最后是板内变形的复杂过程。从极为丰富的实例中总结出造山带的类型和基本演化规律可能是中国区域构造工作者为世界作出贡献的有利领域之一。

青藏高原和台湾海岸山脉是正在进行中的大陆碰撞和弧—陆碰撞场所,从地表形态到深部地壳结构记录仍完整地保存着。大陆碰撞引发的青藏高原抬升及更大范围内的构造应变已影响到大区域自然地理甚至气候变化,所以理所当然地受到全球地学工作者的关注而成为研究大陆变形的最热门地区。

与今天东南亚多岛洋环境相似的阿尔泰型(古亚洲)造山带,是与喜马拉雅造山带为代表的特提斯型造山带相并列的另一类型造山带,近年来受到愈来愈多的关注。它的命名地点就在包括中国西部在内的中亚地区阿尔泰山。中国东南部的华夏造山带可能也属于这一类型,查明它的分布范围、结构和演化将有助于了解古太平洋中生代或更早时期以来与欧亚大陆的相互作用历史。

中国的一些古造山带如天山—兴蒙和秦岭—大别带已经与相邻地台在构造上一体化,对它们的研究将可揭开造山带克拉通化的过程。中朝地台内部的燕辽地区晚中生代以来明显构造活化,出现了一些造山带中才有的薄皮叠瓦逆冲—推复构造和大规模火山—深成活动。近年邵济安(2007)提出大兴安岭、燕—辽地区由于地幔隆升的底侵作用引起中生代大规模火山—深成活动和伸展造山的认识值得关注<sup>[21]</sup>。如何认识和解释这种明显属于板内的构造作用?应该是大陆动力学深入研究的命题。

(4)古特提斯洋从古亚洲退却的过程,特别是在中国境内退却的路径是长期受人关注的科学问题。泥盆纪—早石炭世西伯利亚与蒙古—松嫩—布列亚地块的拼合使古特提斯洋北支的古亚洲洋大为缩小,大洋向西从乌拉尔西南退却,蒙古—松嫩—布列亚地块南部北亚与华夏植物混生带的出现,说明晚

古生代古亚洲洋已成陆间的残留洋;中朝地台与扬子—华南地台之间的“古西域洋”由于东、北秦岭志留纪末的造山隆升,泥盆纪洋盆向西退却,勉略以西到甘—青地区晚古生代亦成为古特提斯洋余留在华夏型古陆内的残留洋盆,这就使从 20 世纪 80 年代沿用至今的“秦—祁—昆洋壳板块”的概念需要重新审视;晚古生代真正的古特提斯洋洋壳板块存在于南、北美塘地块之间,沿龙木错—双湖—澜沧江缝合带展布,其南为冈瓦纳型陆块,其北为华夏型陆块,洋盆闭合于晚三叠世。该洋盆向东延伸到桂西—钦—防海盆,晚二叠世东吴运动后古特提斯洋盆南迁到海南岛北部,再向东北如何延伸到西南日本以东?迄今仍存争议。

(5)中国陆块数量多、规模相对较小,在它们于印支期后依次拼贴过程中,中—新生代期间由于北冰洋、印度洋的持续或脉冲式扩张,后期的陆—陆碰撞引起的陆内变形无疑会对早期已固结的部分重新产生影响,发生如地体论者所说的紧固作用、挤出构造和块体旋转。

空间上相对小的陆块位于结构复杂的褶皱带之间,并受到褶皱带演化的影响;时间上从洋—陆会聚、大陆碰撞到后来的紧固作用,它们的共同效应有助于理解中国构造的多旋回性和构造地震呈面状散布。由于构造格局的多次重组和形变作用的多次叠加,中国中、新生代的构造对前期记录的改造是一个不容忽视的问题。最近 2 亿年来中国整个面貌曾发生了巨大的变化。这种变革现在仍活跃地进行着,喜马拉雅山和台湾中央山脉的快速抬升,冀中拗陷始新世以来近 10 km 的沉陷及秦岭近东西向平移断裂新近纪来近百千米的错距都是人所熟知的例子。华北第四系下更新统泥河湾组中含丰富介形虫和有孔虫的同一海相夹层在北京平原的钻孔中埋深 400 m,而向西到延庆盆地出露高程却在 400~1000 m<sup>[22]</sup>。这表明第四纪初以来,华北东部的差异升降幅度已达 800~1000 m。根据汪品先的工作,第四纪含有孔虫的海相或半咸水相地层最西可达山西运城和河北蔚县等地,它们现在已深处内陆。24.6~23 Ma 形成的青藏—闽粤初始高原<sup>[23]</sup>成为塔里木、柴达木、渭河、河淮盆地、苏北—南黄海、东海、南海以及孟加拉湾新近纪沉积的主要物源区。因此忽视新生代以来的构造改造,不加修正地以现在的露头图式来比拟中生代以前的情况是不适宜的。而这种后期改造在

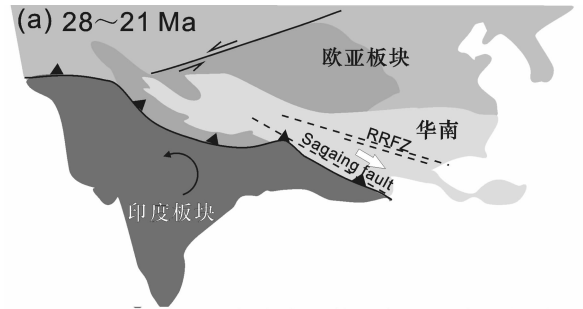
中国多数地区又是大陆拼接后的板内构造事件,是经典板块构造学说未曾提出,有待广大陆地构造工作者解决的问题。

大陆内部宽阔而弥散的变形带表明它不同于变形只沿边界分布的刚性大洋板块。对大陆变形的习性有两种不同的观点:一种实质上仍认为是刚性的,只是把它划分成若干规模不等的小块体在应力作用下相对运动。Tapponier(1982)的挤出构造是这种观点的代表<sup>[24]</sup>,按照他的解释,青藏高原的隆起、印支半岛沿红河断裂向东南、亚洲东部沿阿尔金断裂系向东北挤出都是印度—欧亚早新生代碰撞,前者向北楔入、后者沿滑移线场变形的结果。另一种观点认为大陆变形应视为连续介质的应变,地壳可以通过增厚、旋转和内部变形来调节而无需大规模的侧向位移。Dewey(1989)以此来解释印度次大陆两个突出点以北,围绕东、西喜马拉雅山结的马蹄形弯折和大角度旋转<sup>[25]</sup>。由于这两种看法涉及的地区大部分在中国境内,中国不同区域也确实存在着上述两种变形结果,这就为地质工作者提供了施展身手的舞台。

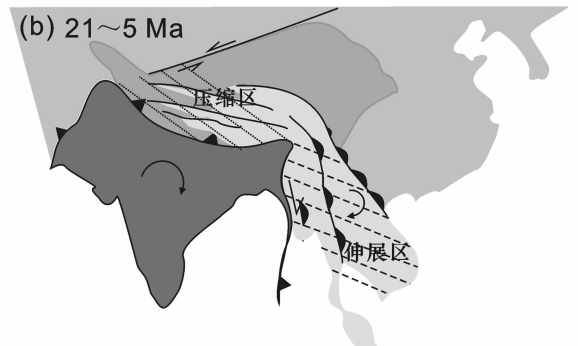
对于川西—云南南北走向构造带的形成,张林源(1991)<sup>[26]</sup>、王建(1996)<sup>[27]</sup>根据中国古近纪古气候带、古沉积带在新近纪的弯转;张连生、钟大赉(1996)<sup>[28]</sup>、季建清(2000)<sup>[29]</sup>从红河剪切带走滑运动的演化,已经提出它们是新近纪以来印度板块东构造结楔入引起东部地块旋转的结果。

近年刘俊来、唐渊(2006、2009)根据哀牢山右行走滑同变形期岩浆岩的约束和精细构造研究<sup>[30-31]</sup>,确认上述旋转发生在中新世 21 Ma 以后,认为 42~28 Ma 期间属于印—亚板块初始正面碰撞的后碰撞伸展作用阶段,印—亚边界呈 NWW 向延伸,哀牢山地区 38~30 Ma 期间的碱性岩浆活动在此期间发生,区域性伸展事件持续到 28 Ma 左右,此时印支地块出现沿着红河—哀牢山断裂与实皆断裂以左行走滑剪切向南东逃逸(图 4-a);到 21 Ma 时期左行走滑作用基本结束,21~5 Ma 由于东构造结楔入东部地块发生大角度顺时针旋转(图 4-b),红河—哀牢山断裂由左行走滑转变为右行走滑断裂,川西—云南南北走向的构造带才形成。这是对我国川西—云南南北走向构造带形成的重大创新认识,值得关注。

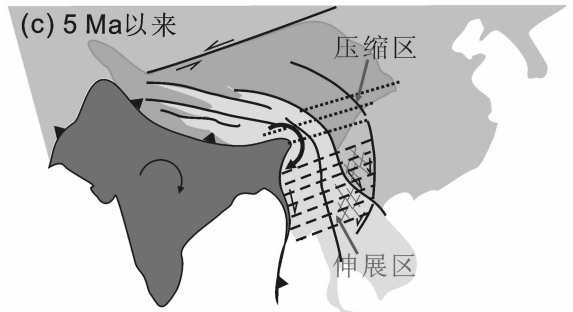
因此几十年来对该带传统的构造认识需要重新调整,诸如扬子地台康滇构造带从新元古代以来一



28~21 Ma, 印支地块沿着两条重要边界断裂(即红河—哀牢山断裂与实皆断裂)向南东逃逸



21~5 Ma 藏东三江地区区域性伸展



5 Ma 之后, 藏东三江地区区域应力场差异, 即北部表现为近E-W向压缩, 南部表现为近E-W向伸展

图 4 藏东三江地区新生代构造演化示意图<sup>[30]</sup>

Fig.4 Simplified map of Cenozoic structural evolution of southeastern Tibet and Indochina<sup>[30]</sup>

直是南北向延伸的认识,显然需要更新。

### 3 内、外动力地质作用对环境变化的影响

全球人口将从目前的 70 亿增加到下个世纪的 120 亿,人口迅速增长导致的农业化、过度放牧、森林植被的被破坏以及后工业化过程中的城市化、矿产开发和废弃物排放等已严重影响了人类自身所赖以生存的自然界。保持生态平衡和生物多样性,创造

一个能可持续发展的环境已成为非常现实的课题。跨学科的研究气候、降水量、洋流等环境因子的演化规律和历史,探讨火山、地震、造山作用等内动力地质作用和人类活动本身对它们的影响正在成为地球科学研究的重要方面。

以气候环境为例,中国目前属于东亚季风体系,冬春盛行西北风,夏秋盛行东南风。全国降水量及其分布、寒潮强度和入侵途径、台风数量、梅雨持续时间以及气温变化等都与每年的大气环流形势密切相关,影响国计民生甚巨。可是近年来查明,这个季风气候从新近纪才逐步形成。因为西藏伦坡拉盆地和广西百色盆地中的始新统还是含薄蒸发岩夹层和钙质壳的陆相红层,证明晚始新世以前中国与其他同纬度地区一样,为一宽广的干旱气候带,那时还没有季风环流,也没有隆升的高原,准平原化的低地与泛盆地是中国北方的面貌。晚渐新世早期,百色盆地和伦坡拉盆地中的红层为湿润气候条件下的灰岩、碎屑岩和煤所取代,提示那时西藏和中国东南部分发生了从干旱向湿润的重要变化;同时期柴达木和江汉盆地中的沉积仍以厚蒸发岩为特征,说明它们当时为同纬度的泛盆地,如前所述它们现今“Z”字形的展布是印度板块楔入引起的<sup>[27]</sup>。中新世柴达木干旱,江汉盆地湿润,这意味着上述两地的气候变化并非由气候带的纬向变化引起,而是新出现的亚洲季风。来自南方的湿气团从两个方向进入中国:一支从云南以东;另一支从印度入藏,表明中新世初始抬升的西藏南部高原已产生地形效应<sup>[32]</sup>。Kutzbach 等 1993 年就提出青藏高原的构造抬升对欧亚大陆气候的影响<sup>[33]</sup>。Ramstein 等(1997)在“造山作用、板块运动和海陆分布对欧亚过去三千万年期间气候变迁的效应”一文中,根据亚洲真实海陆分布的古地理变化,模拟了欧亚大陆现代、10 Ma 前(中到晚中新世)和 30 Ma 前(早渐新世)三个阶段的气候<sup>[34]</sup>,分别得出了各阶段冬、夏季的平均气温和平均降水量的分布和变化。所得结果与各方面的古气候记录对比得很好。据此提出,残余特提斯海的后撤与消失使中亚气候从温和变为大陆性的以及在驱动亚洲季风方面,起着与喜马拉雅—青藏高原的抬升同样重要的作用。李吉均等(1998)提出,青藏高原—戈壁沙漠—黄土高原是一成因上彼此相关的耦合系统<sup>[35]</sup>。中国的古黄土在 2.2 Ma 前开始堆积<sup>[36]</sup>,意味着那时初始隆升的青藏—闽粤高原和古大兴安岭已抬升到

2 000~1 500 m 的高度,亚洲季风体系初步建立,山—陕黄土高原的形成源于处在季风转向的减速带,使风成黄土得以沉积<sup>[23]</sup>。青藏高原周边的上锡瓦利克群(南缘)、西域砾岩(北缘西段)和玉门砾岩(北缘东段)等山麓砾岩的时代也与高原早更新世末的快速隆升一致。上新世晚期—早更新世( $Q_1$ )末(3.6~0.8 Ma)高原夷平面解体,青藏高原才全面抬升达海拔 4000~5000 m 以上<sup>[37,38]</sup>,从而改变了全球大气环流,形成中亚季候风,使中国北纬 30°成为全球同纬度最独特的温湿气候自然地理区,而青藏高原以北则广泛干旱、沙漠化。

上述成果论证了内动力地质作用是如何通过改变大气环流,进而影响区域气候、水系分布,乃至自然地理的其他方面。但是全球气候变化最主要的原因还在于其他外动力作用,特别是水圈的变化,如澳大利亚与南极大陆的分离导致环南极洋流得以生成,南极洲冰盖在渐新世的出现是对后一事件的响应,并使得全球变冷<sup>[39]</sup>;自冰期消退以来,目前间冰期期间气候突然变动的最可能原因是淡水灾变性的输入,改变了大洋温盐环流(thermohaline circulation)。8 200 日历年前格陵兰中部温度下降了 4~8°C、东北大西洋下降 1.5~3°C 的冷却事件,就是由于原来被残余冰席挡住的北美大陆上的两个冰湖,因冰席垮塌而排空的结果<sup>[40]</sup>。

另一方面,外动力作用也有可能导致巨大而快速的构造抬升,这是 1998 年底在旧金山召开的美国地球物理年会上,以 Zeitler 为首的一个多学科国际科研组在执行南迦峰大陆动力学项目时(Nanga Parbat Continental Dynamics Project)提出的新观点。他们认为位于印度板块西突出点上,高 8 125 m 的世界第六高峰南迦峰是由毗邻印度河的迅猛下切造成的。强烈侵蚀在两个方面使所在地点的地壳弱化:首先,同印度—亚洲大陆碰撞使地壳增厚一样快的下切速度使该区的地壳变薄和减弱,犹如一块玻璃上的一处伤痕一样。由于印度—亚洲大陆碰撞正在挤压地壳,上述弱点就成为下地壳最容易向上挤出的地方;其次,随着河流的侵蚀移走了上部地壳,深处更热的部分就迅速上升以填补失去的物质。岩石愈热,强度愈低,从而地壳也愈益变弱而更加上推。研究表明,从南迦峰顶到 25 km 开外的印度河落差达 7 km,是全球陆地上最大的。这导致后者的强烈下切;同位素年代学还提示南迦峰是在地质上极短



的时间内快速抬升上来的,在过去三百万年期间以平均 3~6 mm/a 的速度隆升了 9~18 km;地震和电磁测量则表明山体下面是热,因而是弱的岩石。它们提供了南迦峰异乎寻常的热泉和地震活动性。应该指出的是,中国地质学家几乎同时也提出印度板块东犄角的南迦帕瓦峰是深处地热通道的观点<sup>[41]</sup>。因此,内、外动力地质作用之间的相互作用或者是地壳岩石圈与水、气圈之间的相互作用正在受到愈来愈多的关注,成为区域构造研究的新领域。

## 4 学科交叉和新技术应用对地质研究的促进

科学探索需要一定的技术手段和装备,没有光学望远镜就没有哥白尼天文学;同样,不发明显微镜也不会有现代生物学和地质学中的矿物、岩石学、显微构造和微体古生物等分支学科。板块构造理论所赖以建立的全球大洋地质考察是在海底定位、观察、取样等一系列技术问题解决以后才得以实现。20世纪后半叶是科学技术加速发展的时代,学科交叉和新技术向地质学的渗透不仅使原来难以进入的一些领域,如深部地质的研究成为可能;多学科手段的综合还极大地深化了对区域构造问题的认识。不断地从相关学科中汲取营养、更新观念,用新出现的技术和设备武装自己,将成为今后一段时期内区域构造研究的趋向。

四十年前板块构造学说诞生时,提出岩石圈板块运动的驱动力来自地球内部,其最可能的一种机制是地幔对流。但是限于当时的技术水平,上述提法基本上还只是一种科学设想。80年代 Dziewonski 等用计算机技术处理了当时拥有的全球地震台网资料,发展出地震层析图像(seismic tomography)技术,使人类第一次获得地幔范围内数百千米深度不同层次的直观图象;认识到大陆岩石圈的影响深度最大只有 400 km。经过二十多年的努力,我们对于地球内部的理解已有了质的飞跃。例如现在认识到地球的液态地核是在行星历史的非常早期生成的,自那时以来的缓慢冷却导致了固态内地核的生成。地核由约 90%的铁和 10%的较轻元素如硫和氧等组成,但是内核凝结出的却几乎是纯铁。液态铁在内核边界凝结是一种释能过程,内核从开始增长到今天约 1 220 km 半径,加热了外核中富集较轻元素的流体,使之上升并对流。这种对流运动又以自维持的直

流发电机方式产生了地球磁场。为人类和地球上的其他生物提供屏蔽,使之免遭太阳风的袭击。所以,内核的形成提供了地球磁场产生的能源。在地球的各主要层圈中,分开硅酸盐地幔和铁质地核的界面其密度差要比地壳与大气圈之间的大一倍,以致任何从地核中散发出来的热都将在地幔底部形成一热边界层。这个热足以左右地幔对流进而影响到地表的构造运动、地震和火山活动。内核边界上的压力高达 330 GPa,测定铁在如此高压下的熔点温度对于估算来自地核的总热通量,进而了解组成地核物质的物理和化学性质具有重大意义。Alfe 等(1999)应用称之为 *ab initio* 的分子动力学方法<sup>[42]</sup>,得出内核边界的温度为  $6\ 670\pm 600\text{K}$ ,并且其结果与近期已有的实验成果一致,从而为这一重要问题的解决迈出了一大步。在地幔对流问题上,由于岩石随温度和压力增加性质发生变化,对其有效黏度的估计缺乏严格的限定,尚未取得明显突破。Wyssession(1996)应用衍射波走时对比的新技术<sup>[43]</sup>,测制了原来分辨率最差的地幔底部 D'区的 P 波速度图,发现那里存在着与浅部古消减岩石圈相匹配的大陆规模的侧向速度变化。从而支持了 20 世纪 80 年代有关地表板块构造与地幔底部强烈耦合的提法。

就岩石圈内部而言,地壳与地幔物质和能量双向交流的思想已深入人心。大陆不仅在侧向上,也在垂向上生长;岩浆从陆壳底部底侵或沿消减带添加到地壳中;俯冲的大洋岩石圈也同时沿消减带再循环进入地幔。Hart(1988)提出的四类地幔端元组分中的 EMII 就是后者的代表<sup>[44]</sup>。Hauri(1996)根据对夏威夷 8 处 3 Ma 以来喷发的玄武岩硅酸盐中常量元素同位素比值和含量的对比<sup>[45]</sup>,提出在夏威夷的热柱内可能存在着由再循环洋壳产生的幔源岩浆。基于火成岩探针思路发展起来的四维岩石圈制图在重塑岩石圈演化及其与软流圈的相互作用方面可作出重要贡献,它也是地球物理、地球化学和岩石学相结合的产物。

1999 年土耳其、希腊、台湾和墨西哥等地发生了一系列破坏性的地震,2008 年 5 月 12 日中国发生了毁灭性的 8.0 级汶川地震,并沿映秀—北川和灌县—安县两条断裂 95~120 s 之内分别产生长约 240 km 和 80 km 的地表破裂带<sup>[46]</sup>,地震问题重新引起全世界的严重关注。在 Wilson(1999)的一篇综述性文章中,新的趋向是认为地震的发生本质上是一

个化学问题<sup>[7]</sup>,与流体在高温和巨大压力下的习性有关。因为如果岩石在应力作用下破坏并沿断层滑动应该产生热,可是这个热却觉察不出来;此外沿消减带发生的最深近 700 km 的地震在相应温度、压力下也难以借助简单的脆性破裂机制解释。而高压流体的存在可使断层在很小的阻抗下滑动。岩石的脱水作用(如蛇纹岩转变成橄榄石+水)和矿物相变(如橄榄石转变成尖晶石)可以产生流体,流体也可以来自邻近脆性地壳中或直接来自地幔。圣安德列斯断层附近的泉和井中  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比值比地壳水高出三个量级,提示了地幔成因流体的存在。事实上加热岩石,它就会通过从矿物中释放水而发生相变。释放出的水经由岩石中的裂隙扩散,最终导致断层破坏。这里的要点是,组成流体相的水和氢其体积比它们所由来的原先氧和氢结合在晶格中所占据的体积要大得多。释放出的水推挤矿物或岩石颗粒而使地质体弱化。为了检验上述看法,斯坦福大学的 Zoback 等向美国自然科学基金委提出了一个对圣安德列斯断层钻探的申请,计划钻进 4 km,考察断层带的岩石和流体并进行测定,在小震地区设置监测网。他们希望这项耗资 2 600 万美元的庞大计划能够在 2001 年启动。另外一些小组则根据宇宙射线与  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{Ca}$  和  $^{35}\text{Cl}$  反应,产生  $^{36}\text{Cl}$  的原理,通过测定露头上的上述元素比值来研究历史地震和古地震。在地震预报近期内还不可能解决的情况下,很多机构在投入力量研究磁变流体 (magnetorheological fluids, 简称 MR 流体),以提供一种新型的减震装置和增强建筑物的抗震能力。

美国宇航局正规划在火星表面钻一深 200 m 或 300 m 的孔以探测液体水存在的可能,以及稍后在火星和木星的卫星欧罗巴结冰的壳下面钻取微生物。常规的旋转钻具不仅沉重和高能耗,而且因泥浆循环将不可避免地受到细菌或有机物的污染。在 1999 年召开的钻探技术改革工作会议上科学家和工程师们提出了包括激光、熔化装置和热裂解 (thermal spallation) 技术在内的一系列已进行过小规模试验的新设想和建议。热源可以用电弧、微波和火焰等产生。其中一化学激光器只用了 4 s 就切穿了 15 cm 厚的砂岩,速度比旋转钻快 10 倍。

以上所述范围广泛的片断事例只是意图说明我们正处在一个非常活跃的创新时期,科学技术的进步已经并正在推动地质科学快速地深化和发展。事实上

即以常规区域地质研究来说,大规模测制空白区地质图的时代已经一去不复返,我们现在面临的问题,无论是某一地质体亲缘关系的确定;某一构造事件的空间范围,或者是古环境的恢复与对比,都需要多学科的参与,并且是在学科综合和交叉的基础上完成的。这就对工作人员的素质提出了更高的要求。

综上所述,无论是社会发展需要对地球科学提出新要求,还是中国所处的独特构造环境理应对国际社会作出的贡献,区域地质工作者都还有大量的任务有待完成。当我们回顾建国初期中国的区域地质研究水平时,就会发现短短六十年来我们已取得了多么大的进步。但是一个原有问题的解决就意味着三个新问题摆在面前,认识是无止境的。新全球构造理论的出现要求我们用活动论的观点去重新回顾和检查已有的全部资料,20 世纪 70 年代以来在实验技术、岩浆活动和变质作用方面的重大进展又为区域地质研究提供了新的信息源,以补充仅依靠层状地质体形成环境和后期变形,以及仅依靠地表研究的不足。通向未来的道路还有待我们共同去开辟。环视四周就会清醒地看到我们与先进国家相比,在一些重要问题的研究深度,特别是在技术装备和方法手段上,总体上还存在明显的差距。“革命尚未成功,同志仍需努力”期望年轻一代的中国区域地质工作者,在已有认识的基础上能有更大的飞跃。

**致谢:**衷心感谢《中国地质》编辑部邀请撰写此文,衷心感谢国家自然科学基金委、中国地质调查局的长期资助和指导、感谢我的研究团队同事们的长期支持。

### 参考文献(References):

- [1] 哈因 V. E. 大地构造学和地球动力学现代问题——从板块构造学到全球动力学[J]. 长春地质学院学报, 1996, (4):361-367.  
V. E. Khain. Modern problems of geotectonics and geodynamics—From platetectonics to global geodynamics[J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1996, (4):361-367 (in Chinese with English abstract).
- [2] Miyashiro Akiho. Aki Keiiti, Sengör A M Celâl, Orogeny [M]. Chichester; New York; John Wiley & Sons. 1982.
- [3] McElhinny M W. Paleoreconstruction of the Continents [M]. American Geophysical Union. 1981.
- [4] Metcalfe I. Pre-Cretaceous evolution of SE Asian terranes [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1996, 106:97-122.
- [5] Li Zhengxiang, Fang Dajun, Powell C McA, et al. Oroclinal

- bending and block rotations in South China since the Mesozoic – Geological and paleomagnetic evidence[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(2):132–136.
- [6] Hoffman P F. Did the breakup of Laurentia turn Gondwana inside-out? [J]. Science, 1991, 252:1409–1412.
- [7] Powell C M, Pisarevsky. Late Neoproterozoic assembly of East Gondwana[J]. Geology, 2002, 30(1):3–6.
- [8] Buick Roger, Thornett J R, McNaughton N J, et al. Record of emergent continental crust ~3.5 billion years ago in the Pilbara craton of Australia[J]. Nature, 1995, 375:574–577.
- [9] Burrett C, Long J, Stait B. Early–Middle Palaeozoic biogeography of Asian terranes derived from Gondwana [J]. Geological Society, London, Memoirs, 1990, 12:163–174.
- [10] Scotese C R. Continental Drift Flip Book [M]. Arlington, Texas. 1997:1–80.
- [11] Wang Hongzeng, Li Xiang, Mei Shilong, et al. Pangea cycles, Earth's rhythms and possible earth expansion[C]//Wang Hongzhen Borming J, Mei Shilong (eds.) . Origin and History of the Earth. Proc. 30th Intern. Geol. Congr. 1997, 1:111–128 VSP, Utrecht, The Netherlands.
- [12] Moores G W. Mesozoic and Cenozoic paleogeographic development of the Pacific region, in Abstract, 28th International Geological Congress: Washington D C, USA. 1989:455–456.
- [13] Maruyama S, Isozaki Y, Kimur G. Paleogeographic map of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present[J]. The Island Arc, 1997, 6:121–142.
- [14] Coney P J. Terranes, tectonics and the Pacific rim[C]//Wiley T J, Howell D G, Wong F L (Eds.). Terrane Analysis of China and the Pacific Rim. Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, 1990, 13:49–69.
- [15] Belousov V V. Some problems of development of the Earth's crust and upper mantle of oceans [C]// Knopoff L, Drake C L, Ehart P J. The Crust and Upper Mantle of the Pacific Area. Geophys. Monogr. Ser., 1968, 12: 449 – 459. AGU, Washington, D. C.
- [16] Nur A, Ben-Avraham Z, Lost Pacific continent [J]. Nature, 1977, 270:41–43.
- [17] Yanshin A L. The principal problems of tectonics of Asia. 27th. International Geological Congress, 1984, 5:3–12.
- [18] Li Z X. South China in Rodinia: Part of the missing link between Australia –East Antarctica and Laurentia? [J]. Geology, 1995, 23:407–410.
- [19] Yang Zhenyu, Sun Zhiming, Yang Tienshui, et al. A long connection (750 – 380 Ma) between South China and Australia: paleomagnetic constraints [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 220:423–434.
- [20] Sengor A M C. East Asian tectonic collage[J]. Nature, 1985, 318: 16–17.
- [21] 邵济安, 张履桥, 牟保磊, 等. 大兴安岭的隆升与地球动力学背景[M]. 北京:地质出版社, 2007:1–250.
- Shao Ji'an, Zhang Lvqiao, Mou Baolei, et al. Upwelling of Da Hinggan Mounains and its Geodynamic Background [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007:1–250(in Chinese).
- [22] Chen Fanji. Holocene of Beijing region and the changes of its natural environments[J]. Scientia Sinica, 1980, 23(5):622–633.
- [23] 葛肖虹, 王敏沛, 刘俊来. 重新厘定“四川运动”与青藏高原初始隆升的时代、背景–黄陵背斜构造形成的启示 [J]. 地学前缘, 2010, 17(4):206–217.
- Ge Xiaohong, Wang Minpei, Liu Junlai, Redefining the Sichuan Movement and the age and background of Qingzang Plateau's first uplift: The implication of Huangling anticline and its enlightenment[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(4):206–217(in Chinese with English abstract).
- [24] Taponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, et al., Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine[J]. Geology, 1982, 10:611–616.
- [25] Dewey J F, Cande S, Pitman W C, Tectonic evolution of the India –Eurasia collision zone [J]. Eclogae Geologicae Helvetiae, 1989, 82:717–734.
- [26] 张林源, 蒋兆理, 刘晓东, 论东亚季风与青藏高原在形成和发展过程中的关系 [C]// 中国第四纪冰川与环境研究中心主编. 中国西部第四纪冰川与环境. 北京: 科学出版社, 1991:1–14.
- Zhang Linyuan, Jiang Zhaoli, Liu Xiaodong. A study on the relationship between the East Asian monsoon and Qinghai –Tibet Plateau in their formation and evolution processes [C]// Quaternary Glacier and Environment Research Center of China eds. Quaternary Glacier and Environment of Western China. Beijing: Science Press, 1991:1–14(in Chinese).
- [27] 王建, 席萍, 刘泽纯, 等. 柴达木盆地西部新生代气候与地形演变[J]. 地质论评, 1996, 42(2):166–173.
- Wang Jian, Xi Ping, Liu Zechun, et al., Cenozoic climatic and topographical changes in the western Qaidam basin [J]. Geological Review, 1996, 42(2):166–173(in Chinese with English abstract).
- [28] 张连生, 钟大赉, 从红河剪切带走滑运动看东亚大陆新生代构造[J]. 地质科学, 1996, 31:327–341.
- Zhang Liansheng, Zhong Dalai, The Red River strike–slip shear zone and Cenozoic tectonics of East Asia continent [J]. Scientia Geologica Sinica, 1996. 31:327–341 (in Chinese with English abstract).
- [29] Ji Jiangqing, Zhong Dalai, Zhang Liansheng. Kinematics and dating of Cenozoic strike–slip faults in the Tengchong area, west Yunnan: implications for the block movement in the southeastern Tibet plateau[J]. Scientia Geologica Sinica, 2000, 35(3):336–349.
- [30] 刘俊来, 宋志杰, 曹淑云, 等. 印度–欧亚侧向碰撞带构造–岩浆演化的动力学背景与过程——以藏东三江地区构造演化为例 [J]. 岩石学报, 2006, 22(4):775–786.
- Liu Junlai, Song Zhijie, Cao Shuyun, et al. The dynamic setting and progress of tectonic and magmatic evolution of the oblique collision zone between Indian and Eurasian plates: Exemplified by the tectonic evolution of the Three River region, eastern Tibet[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (4):775–786 (in Chinese with

- English abstract).
- [31] 唐渊, 刘俊来, TRAN My Dung, 等. 莫边府走滑断裂带的构造特征、遥感解译及其区域构造意义[J]. 地质学报, 2009, 83(10): 1401-1413.  
Tang Yuan, Liu Junlai, TRAN My Dung, et al. Structural characteristics of the Dien Bien Phu slip fault zone and its regional tectonic implication[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(10):1401-1413(in Chinese with English abstract).
- [32] Daifang Gu, S G. H. Pholander, Interdecadal climate fluctuations that depend on exchanges between the tropics and extratropics[J]. Science, 1997, 275(5301):805-807
- [33] Kutzbach J E, Prell W L, Ruddiman W F, Sensitivity of Eurasian climate to surface uplift of the Tibetan Plateau [J]. The Journal of Geology, 1993, 101:177-190.
- [34] Ramstein Gilles, Fluteau Frédéric, Besse Jean, et al, Effect of orogeny, platemotion and land-sea distribution on Eurasian climate change over the past 30 million years[J]. Nature, 1997, 386:788-795.
- [35] 李吉均. 青藏高原的地貌演化与亚洲季风[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(1):1-11.  
Li Jijun. Studies on the geomorphological evolution of the Qinghai-Xizang (Tibetan) plateau and asian monsoon [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1999, 19 (1):1-11 (in Chinese with English abstract).
- [36] Guo Z T, Ruddiman W F , Hao Q Z, et al. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China [J]. Nature, 2002, 416:159-163.
- [37] 李吉均, 方小敏, 潘保田, 等. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. 第四纪研究, 2001, 21:381-391.  
Li Jijun, Fang Xiaomin, Pan Baotian, et al. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai-Xizang Plateau and its impacts on environments in surrounding area [J]. Quaternary Sciences, 2001, 21:381-391(in Chinese with English abstract).
- [38] 葛肖虹, 任收麦, 马立祥, 等. 青藏高原多期次隆升的环境效应[J]. 地学前缘, 2006, 13(6):118-130.  
Ge Xiaohong, Ren Shoumai, Ma Lixiang, et al. Multi-stage uplifts of the Qinghai-Tibet plateau and their environmental effects [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13 (6):118-130 (in Chinese with English abstract).
- [39] Barret P J, Elston D P, Harwood D M, et al. Mid-Cenozoic record of glaciation and sea-level change on the margin of the Victoria land basin, Antarctica [J]. Geology, 1987, 15 (7):634-637 (in Chinese with English abstract).
- [40] Baber D C, Dyke A, Hillaire-Marcel C, et al. Forcing of the cold event of 8200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes [J]. Nature, 1999, 400:344-348.
- [41] 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带 [M]. 北京: 科学出版社, 1998:1-231.  
Zhong Dalai. Paleo-tethys Orogenic Belt of Western Yunnan and Sichuan Province [M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-231 (in Chinese).
- [42] Alfè D M, Gillan J, Price G D. The melting curve of iron at the pressures of the Earth's core from ab initio calculations [J]. Nature, 1999, 401:462-464.
- [43] Wysession M E, Large-scale structure at the core-mantle boundary from diffracted waves[J]. Nature, 1996, 382:244-248.
- [44] Hart S R, Heterogeneous mantle domains: signatures, genesis and mixing chronologies [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1988, 90: 273-296.
- [45] Hauri E H, Major-element variability in the Hawaiian mantle plume[J]. Nature, 1996, 382:415-419.
- [46] 徐锡伟, 闻学泽, 叶建青, 等. 汶川 MS 8.0 地震地表破裂带及其发震构造[J]. 地震地质, 2008, 30 (3):597-629.  
Xu Xiwei, Wen Xueze, Ye Jianqing, et al. The Ms8.0 Wenchuan earthquake surface ruptures and its seismogenic structure [J]. Seismology and Geology, 2008, 30 (3): 597-629(in Chinese with English abstract).
- [47] Wilson E K, Earthquakes and chemistry [J]. Chemical & Engineering News, 1999, 77(45):21-27.

## Prospect of researches on regional tectonics of China

GE Xiao-hong<sup>1,2</sup>, MA Wen-pu<sup>2</sup>, LIU Jun-lai<sup>2</sup>, REN Shou-mai<sup>3</sup>, YUAN Si-hua<sup>4</sup>

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 2. State Key Lab of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100029, China; 4. Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, Hebei, China)

**Abstract:** Based on the result of regional geological survey in China, this paper tries to generalize the theoretical system of China's regional tectonics so as to outline its geodynamics and evolution in earth history. As we know, China is located at the juncture between the Circum-Pacific tectonic belt and the Tethys tectonic domain, with tectonic characteristics of a composite continent. Such a continent is composed of several geological blocks with distinct structures, biogeography fauna and evolution history. The blocks have been welded and amalgamated into the continent in the past 400 Ma years. Thus, China's regional tectonics can make its due contribution to global tectonic theory in the following aspects:

First, the tectonic blocks (or platforms) in China are small, non-rigid, with strong deformation of cover rocks in comparison with such other cratons as North American craton and African craton, and this phenomenon provides a window for studying continent growth and evolution. Second, the tectonic blocks of China's composite continent were derived from different parts of the globe. Therefore, comprehensive research is necessary on large-scale paleomagnetism, paleontology-geography, paleo-sedimentation, paleo-tectonics, paleo-mineralization and paleo-environments, so as to understand the tectonic positions of China in global framework in different stages of its tectonic history. Such a study will surely contribute to the research on global tectonics. Third, China has many orogenic belts, in which the Tibetan Plateau and the Taiwan Coast Ranges are characterized by continental-continental collision and arc-continental collision in progress, respectively. The paleo/new-orogenic belts and their tectonic evolutions will enrich theories of global continental accretion. Fourth, geologists have long paid much attention to the retreat progress and path of Paleo-Tethys ocean from Paleo-Asian ocean, but without satisfactory result so far. The formation of Mesozoic-Cenozoic intra-continental deformation and basin-mountain tectonics-geomorphology in China is a hot topic which needs in-depth study in the light of continental dynamics. Sixth, the impact of geological processes on environmental change has also enlarged the area of regional tectonic studies.

Facing development of science and technology in the new century, inter-discipline studies and new technology application will surely promote geological research. We are about to see the new flourishing prospect of China's regional tectonic study.

**Key words:** regional tectonics; global tectonic theory; research prospect; inter-discipline

---

**About the first author:** GE Xiao-hong, male, born in 1938, professor, supervisor of doctor candidates, majors in structural geology and engages in the study and teaching of tectonics and petroleum geology; E-mail: gxhbj2004@yahoo.com.cn.