白垩纪:中国及邻区板块构造演化的一个重要变换期

吴根耀

(中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029)

提要:中国及邻区是一系列不同起源的微大陆(克拉通)和地块经多期增生和碰撞而形成的复合大陆,海西—印支旋回和新特提斯旋回在其形成中起了决定性的作用。侏罗纪末白垩纪初部分新特提斯洋(有人称中特提斯)闭合,亚洲大陆的雏形出现,白垩纪末新特提斯洋全面消减,亚洲大陆形成,因而白垩纪是中国及邻区板块构造演化的一个重要变换期。笔者从地球动力学系统的变换、构造格局的变换、北东向新生构造的出现和造山作用类型的多样化等方面论述了这一变换。这一变换集中表现在中国及邻区的构造演化由原来的南、北分异在白垩纪转变为东、西两部发生分异,西部以构造的继承性为特色,东部则新生构造起了主要作用。反映在地形-地貌上,早白垩世该区东高西低,白垩纪末开始出现今日的西高东低面貌。盆地发育和"盆""山"系统也在白垩纪开始发生重要变换,说明东亚大陆边缘因向太平洋的蠕散而不断解体,大陆内部构造则日趋复杂。中国及邻区的这一实例再次说明必须坚持活动论构造观,以动态演化的思路来重塑区域大地构造演化。

关　键　词:白垩纪;板块演化;构造变换;中国及邻区;东、西两部分异

中图分类号:P541　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-3657(2006)01-0064-14

中国及邻区是一系列不同起源且经历了不同演化的微大陆(克拉通)及地块经多期增生和碰撞而形成的复合大陆[1~3],因而其漫长的板块构造演化史明显具有阶段性。纵观这一演化史,可以发现中生代晚期(尤以白垩纪为最)是该区板块构造演化史上的一个重要变换期,笔者试从地球动力学系统、构造格局、造山机制-造山类型、地形-地貌和"盆""山"系统等 5 方面来论述这一变换。

1　地球动力学系统的变换

白垩纪以前是亚洲大陆的形成阶段,其总体构造面貌是:若干个为大洋所分隔或围绕的微大陆(克拉通)或地块,或经自身的增生(或扩大),或经彼此间的碰撞焊合(或联合)而发展为次大陆,在白垩纪时次大陆碰撞或汇聚,形成亚洲大陆。早白垩世亚洲大陆的雏形出现,东亚大陆边缘的演化即成为新的、醒目的地质现象,因而白垩纪前后板块演化的地球动力学系统有明显的不同。标志洋盆消减闭合的缝合线见图 1。

白垩纪及之前的亚洲大陆形成阶段,可划分为三大构造旋回,每一旋回都有各自的运动学和动力学特征,其间又不乏相似之处。

第 I 构造旋回是罗迪尼亚超大陆的汇聚和裂解,在中国被称为晋宁旋回。在扬子微大陆以南,以双桥山群、冷家溪群和四堡群等为记录的深海盆中的洋壳在中元古代末(距今约 1 200 Ma)开始消减,继之以扬子与湘赣—华夏微大陆间的碰撞(主要为距今 1 000~950 Ma);因晋宁造山带的快速坍塌,有拆沉裂谷发育,其中有新生洋壳形成并在距今 850~800 Ma 发生消减[4]。古生代早期坍塌裂谷仍在发育,下寒武统保存较好。江西武功山区大于 403 Ma 的以高压为主的中—高压变质作用[5]指示这些坍塌裂谷的最终闭合和嗣后的陆-陆碰撞,华南次大陆形成[2,3]。位于扬子与华北微大陆之间的秦岭洋于距今 1 000~900 Ma 时发生了强烈的消减,蛇绿岩、岛弧杂岩和弧后盆地记录保存相对完好[6]。其东,位于苏皖地块与胶辽微大陆之间的苏鲁洋在晋宁运动时也发生了消减[7],伴有双变质带发育。与华南不同的是:秦岭洋和苏鲁洋尽管在新元古代发生消减但并未闭合,因而古生代时这些洋盆重又扩张[8]。华北微大陆以北是兴(安岭)—蒙(古)洋(或称古亚洲洋),内蒙古温都尔庙变质基性火山岩[9]和新疆洪古勒楞蛇绿岩[10]表明它们至少在新元古代时即已存在,已有的年龄值表明该洋盆在距今 1 390~960 Ma 时经历了强烈的构造-热事件[6]。综上所

收稿日期:2005-06-03;**改回日期**:2005-09-06

作者简介:吴根耀,男,1946 年生,博士,研究员,主要从事大地构造研究;E-mail:dzkx@mail.igcas.ac.cn。

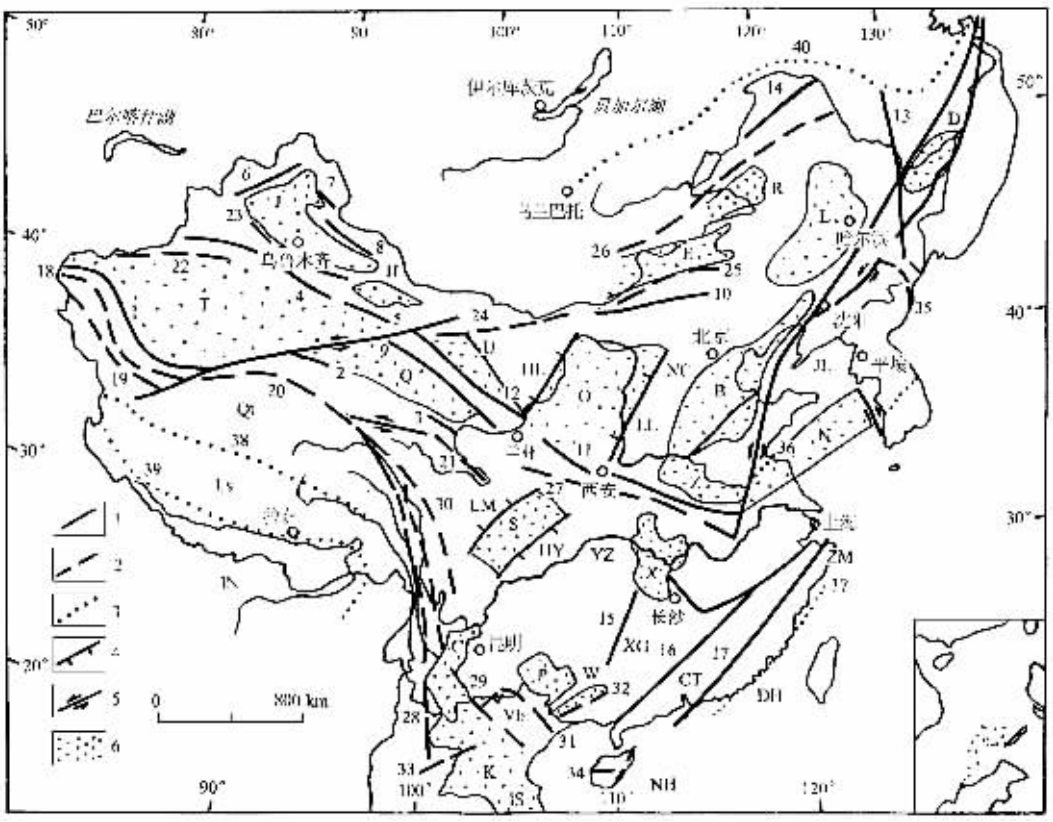


图 1　中国及邻区大陆主要构造单元(据 Wu[2,3],吴根耀等[8]和张文佑[11]补充修改)

图例:1—新元古代—早古生代(个别可延入泥盆纪)的缝合线(或蛇绿岩);2—海西—印支期的缝合线;3—燕山—喜马拉雅期的缝合线;
4—冲断带;5—走滑断层;6—盆地;
图中数字代表的缝合线(或蛇绿岩)名称:1—库地—苏巴什;2—茫崖;3—清水泉;4—中天山南缘;5—北山;6—准噶尔西缘;7—阿尔曼太;
8—卡拉麦里;9—中祁连南缘;10—巴音查干—温都尔庙—柯丹山;11—商县—丹凤;12—北祁连;13—鹤岗;14—得尔布干;15—寿城—武功山;
16—云开—武夷;17—丽水—政和—大埔;18—麻扎—康西瓦;19—红水湖;20—龙木错—玉树(含可可西里带);21—阿尼玛卿;
22—南天山;23— 伊连哈比尔尕(北天山);24—恩格尔乌苏;25—索伦山—二连—贺根山;26—赛音山达—海拉尔—呼玛;27—勉县—略阳;
28—碧土—昌宁—孟连;29—金沙江—墨江;30—甘孜—理塘;31—八布—Phu Ngu;32—灵山;33—难河和黎府;34—海南岛中部;
35—延吉—清津;36—苏鲁 37—长乐—南澳;38—班公湖—丁青;39—印度河—雅鲁藏布;40—蒙古—鄂霍次克;
冲断带名称:LL—吕梁山;HY—华蓥山;LM—龙门山;HL—贺兰山;
盆地名称:B—渤海湾;C—楚雄和思茅—勐腊;D—东北三江;E—二连(浩特);H—吐鲁番—哈密;J—准噶尔(地块);K—阿叻;L—松辽;
N—苏北—南黄海(苏皖地块);O—鄂尔多斯;P—南盘江;Q—柴达木(地块);R—海拉尔(呼伦贝尔);S—四川;T—塔里木(微大陆);
U—酒泉;W—十万大山;X—江汉—襄樊;Z—周口—合肥;
主要的微大陆和地块:NC—华北;JL—胶辽;YZ—扬子;XG—湘赣;CT—华夏;ZM—浙闽;DH—东海;NH—南海;IS—印支;
Vb—越北地块;Qt—羌塘地块;Ls—拉萨地块;IN—印巴次大陆(中国东北及邻区见图 2)

Fig.1　Main tectonic units in mainland China and its adjacent areas (modified from Wu[2,3]; Wu Genyao et al.[8]; Zhang Wenyou[11])

1−Neoproterozoic to Early Paleozoic (exceptionally to Devonian) sutures (or ophiolites); 2− Hercynian−Indosinian suture;
3− Yanshanian−Himalayan suture; 4− Thrust zone; 5− Strike−slip fault; 6− Basin. Names of sutures (or ophiolites): 1− Küda−Shubashi; 2− Mangnai;
3− Qingshuiquan; 4− Southern margin of the Central Tianshan; 5− Beishan; 6− Western margin of the Junggar; 7− Almantai; 8− Karamaili;
9− Southern margin of the Central Qilian; 10− Bayan Qagan−Ondor Sum−Kedanshan; 11− Shangxian−Danfeng; 12− North Qilian; 13− Hegang;
14− Derbugan; 15− Shoucheng−Wugong; 16− Yunkai−Wuyi; 17− Lishui−Zhenghe−Dapu; 18− Mazar−Kangxiwar; 19− Hongshui Lake;
20− Longmu Co−Yushu (including the Hoh Xil zone); 21− A'nyemaqên; 22− South Tianshan; 23− Eren Habirga (formerly North Tianshan);
24− Engger Us; 25− Solen Mountain−Eren−Hegen Mountain; 26− Sain Sand−Hailar−Huma; 27− Mianxian−Lüeyang;
28− Bitu−Changning−Menglian; 29− Jinsha River−Mojiang; 30− Garzê−Litang; 31− Babu−Phu Ngu; 32− Lingshan; 33− Nan River and Loei;
34− Central Hainan Island; 35− Yanji−Chongjin; 36− Sulu; 37− Changle−Nan'ao; 38− Bangong Co−Dêngqên; 39− Indus−Yarlung Zangbo;
40− Mongolia−Ochotsk. Names of thrusts: LL−Lüliang; HY−Huaying Mts.; LM−Longmen Mts.; HL−Helan Mts.. Names of basins: B−Bohai Gulf;
C−Chuxiong and Simao−Mengla; D−Sanjiang in NE China; E−Erenhot; H−Turpan−Hami; J−Junggar (block); K−Korat; L−Songliao;
N−North Jiangsu−South Yellow Sea (Su−Wan block); O−Ordos; P−Nanpan River; Q—Qaidam (block); R−Hailar (Hulun Buir); S−Sichuan;
T−Tarim (microcontinent); U−Jiuquan; W−Shiwan Dashan; X−Jianghan−Xiangfan; Z−Zhoukou−Hefei. Names of microcontinents (or blocks):
NC−North China; JL−Jiaoliao; YZ−Yangtze; XG−Hunan−Jiangxi; CT−Cathaysia; ZM−Zejiang−Fujian; DH− East China Sea; NH− South China Sea;
IS−Indo−China; Vb−Vietbac block; Qt−Qiangtang block; Ls−Lhasa block; IN− India−Pakistan subcontinent (for NE China and neighboring areas, see Fig. 2)

述,组成中国及邻区的各微大陆和地块均被卷入了格林威尔(晋宁)造山作用,成为罗迪尼亚超大陆的一部分。

格林威尔造山运动是全球范围内板块构造体制下的首次重大的构造热事件,奠定了全球构造格局的基础,因而罗迪尼亚超大陆的裂解引起了全球构造格局和海陆分布面貌在新元古代时发生重大变革[4,12]。如:原与华北微大陆同属中朝次大陆的胶辽(朝)微大陆,新元古代至晚石炭世早期的沉积与华北微大陆具明显不同的面貌,说明它们是被古郯庐断裂(辽—渤断裂)分开的两个构造单元[13];苏皖地块在早前寒武纪时应属胶辽微大陆的一部分[14],苏家湾组(相当南沱组)冰碛岩,灯影组厚层状白云岩和寒武系底部含磷块岩则表明它在震旦纪时已归属华南次大陆[14]。

第 II 构造旋回发生的时代大致为古生代至三叠纪,中国及邻区的演化受两个地球动力学系统控制:南为冈瓦纳的离散和再拼合,北为西伯利亚次大陆的增生。

位于西伯利亚次大陆与华北微大陆之间的兴—蒙洋是一个十分开阔的陆间洋并构成两大古生物省之间的分界, 因洋内发育大小不等的中间地块而成为内部构造十分复杂的多岛洋。属西伯利亚古生物省的志留纪杜瓦贝生物群(Tuvaella fauna)已在准噶尔地块[10]和额尔古纳(或称克鲁伦—额尔古纳)地块[15]发现,故可将这两者划归西伯利亚次大陆。

已有研究表明,兴—蒙洋在新元古代和古生代里一直发生着向南后退的消减,在蒙古及邻接的中亚地区形成十分开阔且内部结构十分复杂的增生弧型造山带(即阿尔泰型造山带)[16~19]。受这一造山动力学系统制约,西伯利亚则因仰冲上来的火山-沉积楔和原兴—蒙洋内的中间地块的拼贴而不断地向南增生和扩大。在克鲁伦—额尔古纳地块以南有两条缝合线,北称得尔布干早加里东俯冲带,南称呼玛—伊尔旋早华力西俯冲带[20](西延为赛音山达—海拉尔带),记录了该地块古生代期间向南的增生和扩大。

华北微大陆以北该阶段也发生着相似的构造事件,不过是向北增生和扩大的[2],巴音查干—温都尔庙—柯丹山缝合线系洋壳在新元古代的强烈消减所形成,其北的索伦山—二连—贺根山缝合线则是泥盆纪时洋盆大规模消减的结果,锡林浩特地块(应归中朝次大陆)在此时拼贴在华北微大陆的北缘。石炭纪时,残留的兴—蒙洋继续俯冲(包括洋内俯冲)并因陆源碎屑的大量充填而关闭,西伯利亚次大陆与华北微大陆发生"软碰撞"[21]。赛音山达—海拉尔—呼玛缝合线代表了兴—蒙洋闭合的最后位置[2],西延为准噶尔地块南侧的伊连哈比尔尕(原称北天山)缝合线。在布列亚—佳木斯地块的西侧古生代里则发生着向西的增生,其地质记录为张广才岭陆缘带。早古生代(主要在奥陶纪[22])的消减以原称的鹤岗缝合线为代表,晚古生代消减的缝合线可能被掩覆(图 2)。

冈瓦纳大陆的裂离经历了两大阶段:早古生代时的裂离形成的洋盆称原特提斯,晚古生代时的裂离产生的洋盆称古特提斯。原特提斯的地质记录在昆仑山区保存较好,已有研究表明: 西昆仑洋自晚寒武世至三叠纪均处于向北的消减中,这一消减作用以洋壳的向南后退为特征;中奥陶世—志留纪的大规模消减形成库地—苏巴什蛇绿岩带,二叠—三叠纪的大规模消减则形成麻扎—康西瓦蛇绿岩带[23]。在中国西南及中南半岛地区,古特提斯洋盆的记录保存较好,洋壳在泥盆纪即已形成。从深海沉积的泥盆系与下伏深海相志留系间为连续沉积看,古特提斯洋盆应是继承原特提斯洋(海)盆发育的[24,25]。藏北的龙木错—玉树缝合线和藏东滇西的碧土—昌宁—孟连缝合线代表消失了的古特提斯的主洋盆,这是一个开阔的(宽度以千公里为数量级)的多岛洋,属陆间洋盆,为其分开的两侧大陆块有明显不同的古生物群落和沉积建造[1,3,26]。该洋盆在石炭纪末—早二叠世发生过消减[1,27],因而晚二叠世起它已不再作为一条明确的古生物省间的界线。古特提斯的分支洋盆属陆内洋,是一组分隔了若干个地块的小洋盆,各洋盆之间消减闭合的时间、造山作用的方式、造山的极性等和活动大陆边缘的类型可能有明显差别,不像古特提斯主洋盆那样有较统一的演化过程。至三叠纪末,绝大多数的古特提斯洋盆闭合,原被这些洋盆分隔的微大陆和地块碰撞-焊合, 加上兴—蒙洋石炭纪闭合后中朝次大陆已与增生了的西伯利亚次大陆联合成一体,出现了幅员辽阔的西伯利亚—中国—东南亚联合大陆[1,3]。因此,在亚洲大陆的形成过程中,海西—印支运动可称是极重要的一次造山运动。

第 III 旋回即新特提斯旋回,时限主要为侏罗—白垩纪。

伴随广为发育的印支期挤压造山事件,冈瓦纳大陆进一步发生离散,形成班公湖—丁青洋盆、印度河—雅鲁藏布洋盆(已有年龄资料表明它是三叠纪末侏罗纪初形成的[28])、加里曼丹岛东南的 Meratus 山区和 Darvel 海湾地区的侏罗纪洋盆[29]等。西伯利亚—中国联合大陆也发生裂解,在东西伯利亚及邻区出现了横贯该区的蒙古—鄂霍次克洋[30]。此外,虽经印支期的大规模消减但并未闭合的洋盆在侏罗纪时继续发育,如苏鲁洋[8]。因而,经印支期的拼合而形成的中国—东南亚次大陆四周仍为新特提斯洋围绕。新特提斯洋的演化经历了两个亚旋回。早期亚旋回即燕山旋回,部分新特提斯洋闭合,为之分隔的陆块发生碰撞,使大陆(地壳)的面积进一步扩大,亚洲大陆的雏形出现[1,3]。这一亚旋回被某些研究者称为中特提斯阶段。晚期亚旋回即喜马拉雅旋回,新特提斯洋全面闭合,亚洲大陆形成,

一旦亚洲大陆的雏形出现,东亚大陆边缘的演化成为新的、醒目的地质现象。其演化经历了两个阶段。早期阶段是一系列异地的或半原地的地体或地块斜向地拼贴在东亚大陆边缘上并使之向东增生扩大。图 2 中所示的是中国东北及邻区的异地增生地体,增生事件始于晚侏罗世,在白垩纪达到高潮,可延入古近纪。在华东和东南沿海地区,分别有半原地的苏皖地块[8]和东海微大陆[31]的斜向汇聚和拼贴。这一造山事件不仅在造山作用类型、构造线方向和造山动力学及与造山作用耦合的盆地发育的成盆动力学等方面有别于前白垩纪的造山作用(详见下述),而且卷入造山作用的这些异地的地体(块)可能源自冈瓦纳古陆和劳亚古陆(西伯利亚次大陆属

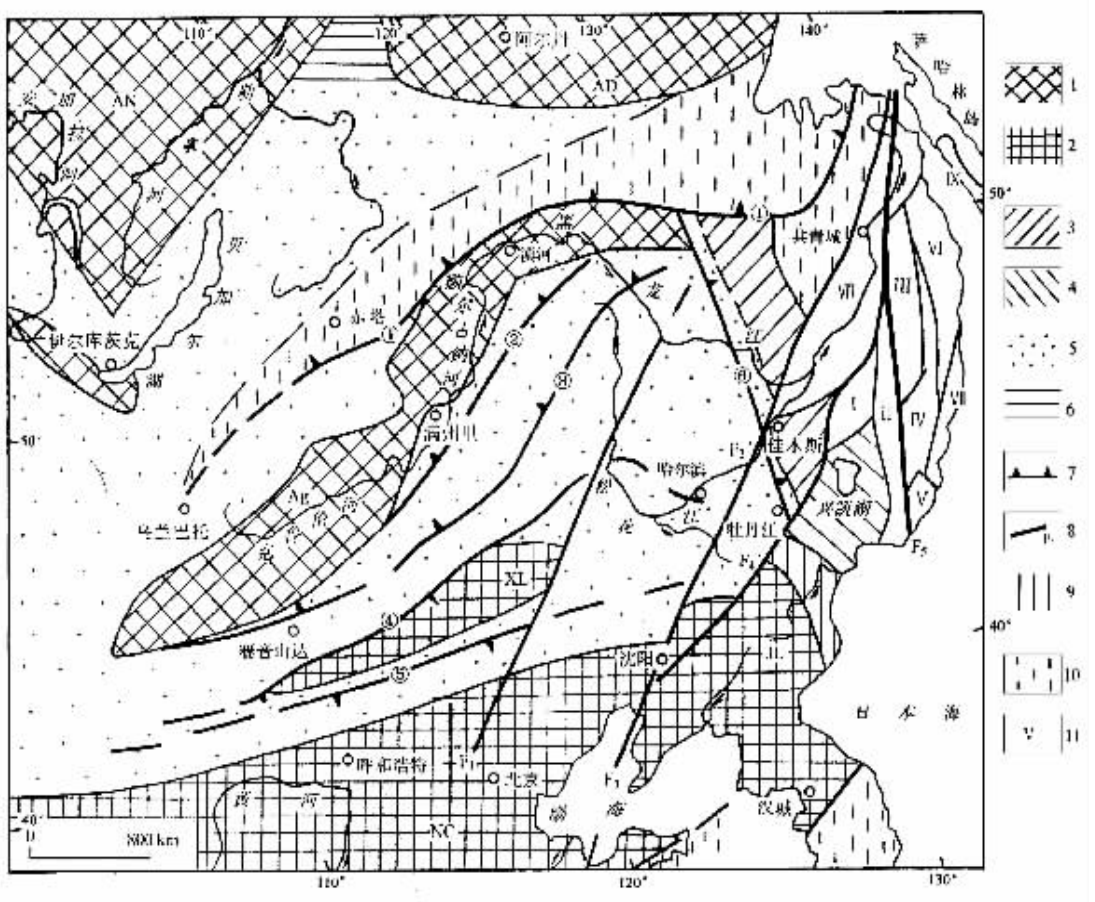


图 2　中俄蒙交界区构造单元简图(据谢鸣谦[20],邵济安等[15]和张文佑[11]修改补充)

1—西伯利亚次大陆;AN—安加拉克拉通;AD—阿尔丹克拉通;Ag—额尔古纳地块;2—中朝次大陆:NC—华北微大陆;JL—辽朝微大陆;XL—锡林浩特地块;3—布列亚—佳林斯地块;4—兴凯地块(包括南缘的增生带);5—新元古代—古生代增生的火山-沉积楔(部分已被卷入燕山造山带);6—尤拉裂堑(坳拉谷);7—缝合线(时代见图 1):①—蒙古—鄂霍次克(燕山期,曾称图库棱格腊断裂);②—得尔布干;③—赛音山达—海拉尔—呼玛;④—索伦山—二连—贺根山;⑤—巴音查干—温都尔庙—柯丹山;⑥—鹤岗;8—走滑断裂及编号;9—延吉—清津印支期造山带;10—燕山造山带;11—组成燕山造山带的移置的增生地体(括号内为拼贴时代)

走滑断裂名称:F_1—嫩江(大兴安岭山前断裂);F_2—依兰—伊通;F_3—辽渤;F_4—敦化—密山(曾称牡丹江—虎林缝合线);F_5—锡霍特中央(燕山期缝合线);

增生地体名称:Ⅰ—那丹哈达—比金(J_3);Ⅱ—中锡霍特—阿林(或萨马尔金,J_3);Ⅲ—Ⅵ可合称东锡霍特—阿林;Ⅲ—杭加利(J_3);Ⅳ—祖拉夫列夫(K_1);Ⅴ—野猪河(K_1);Ⅵ—基玛(K_1末—K_2);Ⅶ—海岸(K_2);Ⅷ—下黑龙江(K_1);Ⅸ—西萨哈林(K_2—E)

Fig. 2　Tectonic units on the China-Russia-Mongolia border region (modified from Xie Mingqian[20];Shao Ji'an et al.[15];Zhang Wenyou[11])

1-Siberia Subcontinent:AN-Angara craton;AD-Aldan craton;Ag-Ergun block;2- Sino-Korean subcontinent:NC-North China microcontinent;JL-Jiaoliao microcontinent;Xh-Xilinhot block;3- Jiamusi block;4- Khanka block (including the accretionary belt along its southern margin);5- Neoproterozoic-Paleozoic accreted volcano-sedimentary wedges (part of which has been involved in the Yanshanides);6- Aulacogen;7- Suture (for ages, see Fig.1):① Mongolia-Ochotsk (Yanshanian);② Derbugan;③ Sain Sand-Hailar-Huma;④ Solon Mountain-Eren-Hegen Mountains;⑤ Bayan Qagan-Ondor Sum-Kedan Mountains;⑥ Hegang;8-strike-slip Fault;9- Yanji-Chongjin Indosinian orogen;10- Yanshanides;11- Allochthonous accreted terrane making up the Yanshanides. Names of strike-slip faults:F_1-Nenjiang;F_2-Yilan-Yitong;F_3-Liao-Bo;F_4-Dunhua-Mishan (formerly Mudanjiang-Hulin suture);F_5-Central Sikhote (Yanshanian suture)

Names of terranes: Ⅰ-Nadanhada-Bikin (J_3); Ⅱ-Central Sikhote-Alin (J_3); Ⅲ - Ⅵ-East Sikhote-Alin (J_3-K_2):III-Hangali (J_3);IV-Zuralev (K_1);V-Tetyukhe (K_1);VI-Kima (terminal K_1 to K_2);Ⅶ-Coast (K_2);Ⅷ-Lower Amure (K_1);Ⅸ-West Sakhalin (K_2-E)

之)之外的另一个古陆。晚期阶段,因东亚大陆边缘地区向太平洋发生蠕散[32],有一系列的边缘海盆地形成和岛弧系发育,亚洲大陆的东缘地区在新生代里发生强烈的解体。如:南黄海坳陷是苏北坳陷的东延,两者都是苏皖地块上发育的新生代盆地,前者在更新世已沉没海中[33]。

白垩纪开始地球动力学系统的变换在燕山运动自身的特点上也有明显表现。燕山运动常被分为早燕山运动和晚燕山运动,其时限因地而异(具南早北晚的趋势),在华东,前者为侏罗纪—早白垩世早期,后者为早白垩世晚期—晚白垩世。笔者等提出[8,31,34]:早燕山运动是造山作用(包括俯冲型、碰撞型和斜向汇聚—剪切型等造山作用),表现为大区域的冲断—推覆活动,郯庐等近北东向断裂的左行走滑,以钙碱系列的中-酸性岩为主体的火山喷发和以I型花岗岩为特征的侵入活动,伴有变质作用和混合岩化。该阶段发育的是磨拉石盆地。晚燕山运动实际上记录的是燕山造山带的坍塌,表现为大区域的滑覆构造,郯庐等近北东向断裂的右行走滑,由响岩和流纹岩构成的双峰态火山建造和以晶洞花岗岩为特征的碱性花岗岩侵入。该阶段发育的盆地明显具伸展性质,属坍塌裂谷。中国东部新生代时总体处于张裂的构造背景下,这些张裂盆地是继承晚白垩世的坍塌裂谷发育的。

2 构造格局的变换

如前所述,在古生代和三叠纪,近东西向延伸的兴—蒙洋和原古特提斯洋分开了三大构造-古地理域,每一构造-古地理域都有其独特的生物群落和建造组合。侏罗纪时,蒙古—鄂霍次克洋和印度河—雅鲁藏布洋的发育使中国及邻区的构造格局依然表现为南、北分异。因后期的改造,局部地区这种南、北分异的面貌已被歪曲或遮掩。

白垩纪时中国及邻区的演化表现为东、西分异。张文佑认为两者的界线为蒙古中部的南北向断裂—六盘山—贺兰山褶皱冲断带—龙门山断裂带—横断山断裂带;其西为挤压隆起区,构造线方向为北西西—近东西向,其东是拉张沉陷区,构造线方向为北北东—近北东向[35]。最近的研究证实了东、西两部从岩石圈三维结构、地壳厚度、地温场乃至地文单元都有明显不同[36,37],反映出不同的大陆动力学特征。中国及邻区的构造演化从南、北分异在白垩纪时变为东、西分异的根本原因是亚洲大陆的雏形出现,早白垩世有北东走向的巨大剪切带形成并在中国及邻区大陆的演化中扮演了重要角色。

在中国东部有两条醒目的北东向剪切带,一是郯庐断裂带,二是长乐—南澳断裂,后者北延为朝鲜半岛的Honam断裂和日本的中央构造线(把日本列岛复原到日本海打开之前)[38]。郯庐断裂带由3条原属微大陆的边界断裂在早白垩世时因亚洲大陆的雏形出现而连接成一体❶:(1)古郯庐断裂(窄义的"郯庐断裂"):曾是连接秦岭洋与苏鲁洋的转换断层,秦岭洋闭合后成为中国—东南亚次大陆的边缘剪切带[8];(2)辽渤断裂:华北微大陆与胶辽微大陆间的分界;(3)敦化—密山断裂:原地的西伯利亚—中国联合大陆与一系列移置的外来地体间的界线。长乐—南澳断裂—中央构造线断裂带亦同。一个最直接的证据是:位于该断裂带上盘的福建沿海平潭—东山变质带和日本东南的领家变质带尽管都是燕山期的高温变质带,前者的原岩(澳角群)是古生代早期浅水的陆源碎屑沉积,后者的原岩则是侏罗纪的深海硅质岩[23],说明两者在白垩纪之前有完全不同的演化史。

这样,在研究白垩纪以来的大区域地质特征时,会遇到构造的继承性和构造的新生性问题。

在中国的西部地区,构造的继承性是主要的。不同世代的盆地发育都表现出构造继承性的盆地被石油地质学家称为继承型叠合盆地[39]。以准噶尔盆地为例,如果不考虑西准噶尔冲断带二叠纪的活动和盆地东部地区的燕山运动,该盆地自二叠纪至今的几个发育阶段的盆地形态(南深北浅的楔形)和沉积记录(南厚北薄)是相似的;总体看二叠纪至今沉积中心不断北移,反映了盆地发育的连续性,或者说,海西造山运动构建的北天山造山带与准噶尔盆地间的耦合关系至今仍未解脱[40]。塔里木、柴达木等盆地在中—新生代的发育也表现出以继承性构造为主,局部地区因受新生的构造活动(如北东东走向的阿尔金断裂新生代的走滑活动)控制而在盆地发育中表现出若干构造的新生性。

西部地区广为发育的海西期和印支期造山带在中—新生代里可能再度活动而成为陆内造山带。陆内造山作用也明显继承了原消减—碰撞型造山作用的主要特点。

在中国的东部地区,也可发现继承性的新生代构造。以盆地为例,古近纪的伸展盆地可能直接上叠在因燕山造山带的坍塌而发育的晚白垩世坍塌裂谷上,两者有近于相同的走向,主要充填火山岩的坍塌裂谷还可能是继承晚侏罗—早白垩世的弧火山岩盆地发育的[8]。要注意的是两者有不同的地球动力学系统:侏罗—白垩纪的盆地受新特提斯演化这一地球动力学系统控制,古近纪盆地则为东亚大陆边缘向太平洋蠕散这一地球动力学系统制约。造山带则可以秦岭印支造山带为例,该地燕山期陆内造山作用的造山极性(扬子微大陆向北俯冲于华北微大陆之下)、造山作用的时空规律(自东向西迁移)和造山作用的强度(冲断和隆升活动向西变弱)等[41]都与印支期造山作用一致。新生代里该地的陆内造山作用仍在进行,因受印度板块与欧亚大陆碰撞的远距离效应控制,兼受东亚大陆边缘解体的影响,故造山和隆升的强度自西向东减弱。

总体看,东部地区在白垩纪以来的演化中,构造的新生性扮演着更重要的角色,并因边界条件和初始条件不同而与继承性构造共同组成复杂的构造变形图案。如中—新生代的

❶ 吴根耀. 试论郯城—庐江断裂带的形成、演化及其性质,2005.

鄂尔多斯盆地,其北界和南界为继承性的构造边界,西界(六盘山—贺兰山褶皱冲断系)和东界(吕梁山冲断带)呈北北东向,为新生的构造边界,尤其是西界冲断带的活动,对鄂尔多斯盆地的发育演化起了关键的作用。尽管它与塔里木盆地等都被划归为延变型的叠合盆地[39],但油气勘探有明显不同的思路。鄂尔多斯盆地因西界冲断带在燕山期的强烈活动使早期(古生界)的气藏发生调整[39],并因西深(热)东浅(冷)的构造格局而有深盆气藏形成[42]。

基底构造对新生构造的发育也有一定的制约作用。以鄂赣交界区的盆地为例,赣北地区受燕山运动的影响(苏皖地块俯冲于扬子微大陆之下,怀玉地块超叠在苏皖地块之上[8]),相当于构造隆起区,兼之赣江断裂早白垩世的活动(属郯庐断裂带❶),白垩纪的盆地近南北向,表现出构造的新生性;而武汉以西和以南的板内地区(古生代—三叠纪的沉陷区),白垩纪(可上延入古近纪)盆地则呈近东西向,反映了构造的继承性。断裂活动也如此。赣中—北地区曾是印支期陆内造山带的一部分,构造线走向北东东[43]。该地被卷入燕山期的陆内造山运动时,造山的极性(冲断的方向)与湘赣闽褶皱冲断系[44]的一致,但构造线方向为北东—北东东(以北东东向为主)[45],与大区域内燕山期陆内造山带走向(北东—北北东向)仍有一定差异。

陆内造山作用集中反映了这种构造的新生性,这里仅以东北及邻区的北东向盆-山为例剖析与构造的新生性有关的一些独特地质现象,是笔者在探讨"盆""山"耦合关系[46]时尚未总结进去的。

如上所述,兴—蒙洋在新元古代—石炭纪的消减于中、蒙交界区形成了 4 条缝合线,其总体走向为近北东东向。随蒙古—鄂霍次克洋的闭合,这 4 条缝合线均活化并控制了燕山期陆内的造山带发育[44,47],陆内造山带(包括为之控制发育的磨拉石盆地)的延伸明显表现出构造的继承性。白垩纪(部分人认为晚侏罗世)开始发育的松辽盆地则呈北东向,反映了构造的新生性。无独有偶,白垩纪开始崛起的大兴安岭(松辽盆地可视作与这一造山作用耦合的盆地)也是北东向的。对早白垩世晚期-晚白垩世初期火山杂岩的研究表明:大兴安岭在这一时期经历了挤压隆升(造山)和造山带的快速坍塌两大阶段[48]。大兴安岭作为一个造山带的特殊性是显而易见的。(1)发育在燕山造山带(含燕山期陆内造山带)的坍塌阶段。(2)由于原造山带增厚的岩石圈已发生了拆沉,因而该地的岩石圈是减薄的。(3)因活跃的壳幔相互作用而使陆壳发生垂直增生❷,形成薄圈厚壳的结构。(4)强烈的火成活动(包括火山活动,次火山活动和岩浆侵入)使该地发生了热隆升。(5)中地壳流变层的大规模侧向流动起了滑脱层的作用❶。综上所述,大兴安岭是在拆沉阶段上叠在原燕山期造山带之上的主要由垂直运动和热作用控制发育的造山带,与之耦合的盆地则在其两侧均有发育(其西为海拉尔和二连盆地)。

3　造山机制和造山类型的变换

白垩纪开始造山机制和造山类型也发生了明显的变换,集中表现在下列两方面。

白垩纪之前,陆-陆碰撞发生在一些规模相对都较小的微大陆或次大陆之间。目前的认识,除准噶尔地块和克鲁伦—额尔古纳地块属西伯利亚构造-古地理域外,其南的微大陆和地块均起源于冈瓦纳大陆,从新元古代到早中生代其总的运动是向北漂移。换言之,这些陆块间的碰撞拼合发生在一个两者均向北漂移的背景下,是一种动态演化的过程。如扬子微大陆与华北微大陆的碰撞,就是因为前者北移的速度远大于后者而"追"上了后者;自早古生代以来,两者在向北漂移时还发生了旋转:前者为顺时针方向的转动,后者为逆时针方向的转动[49]。洋盆的这种东(南)早西(北)晚的剪刀式闭合方式,在金沙江—墨江洋盆[27]、南天山洋盆[50]等地均可观察到,说明伴随向北漂移地块发生旋转可能是一种普遍现象。南天山洋盆闭合东早西晚这一特点在新生代天山山脉的再度崛起中得到了充分反映(构造的继承性),即:1)南天山的大规模隆升东早西晚(中段即库尔勒地区始自中新世,西段即阿克苏地区发生在上新世[51]);2)现天山山体明显自东向西变宽(库尔勒段宽 230 km,喀什段宽 390 km[51])反映新近纪时东段可能经历了更强烈的挤压和缩短。

侏罗纪末白垩纪初,部分新特提斯洋闭合,亚洲大陆的雏形出现;相应地,侏罗纪末白垩纪初时亚洲大陆的雏形已基本到达它现在的位置[14]。

另外一个重要的变化是:随原来的微大陆拼合成亚洲大陆的雏形,原作为这些微大陆边界的断裂连接成一条断裂,在东亚大陆的边缘地区出现了蔚为壮观的北东向构造。郯庐断裂带即在早白垩世时由古郯庐断裂、辽渤断裂和敦化—密山断裂连接而成,在早白垩世左行走滑活动中把其南的赣江断裂和其西的依兰—伊通等断裂也纳入了自己的运动学体系❸。其东是另一条巨大的北东向左行走滑断裂,南段是中国东南沿海区的长乐—南澳断裂,主活动期在早白垩世早—中期(早白垩世晚期已停止活动[23,31]),向北延入朝鲜半岛和日本中部,活动时间变晚[38]。

这样,从侏罗纪末白垩纪初开始出现了一种新的造山样式:为北东向断裂的左行走滑活动控制的剪切造山作用。它主要发生在亚洲大陆的东部边缘区,南、北两段的表现特征

❶ 梁兴,吴根耀. 赣江走滑断裂系在鄱阳盆地的表现及其地球动力学背景, 2005.

❷ 邵济安,张履桥. 陆内造山的一种可能机制,2005.

❸ 吴根耀. 试论郯城—庐江断裂带的形成、演化及其性质,2005.

尚有不同。

在中国东北及邻区,可见一系列移置的外来地体主要沿敦化—密山断裂拼贴在可视作原地的亚洲大陆雏形上。这些地体由古生代—侏罗纪的大陆边缘沉积构成。从晚侏罗世起到古近纪,因一系列地体的依次拼贴而使亚洲大陆雏形向东增生扩大[15,22],其造山过程和造山带样式与北美大陆西缘的地体增生作用[52]十分相似。兴凯地体是中俄交界区的一个特例,它见前寒武纪基底,其上的下—中寒武统是磨拉石[22],因而既不归属中朝次大陆也不归属华南次大陆。它在古生代发生过增生,在晚二叠世至三叠纪早期与胶辽微大陆碰撞[22]。

中国东部和东南地区的燕山运动也属剪切造山作用。(1)拼贴在中国—东南亚次大陆上的是具早前寒武纪基底的地块(如苏皖地块)和微大陆(如东海微大陆)。(2)在前侏罗纪时这些地块/微大陆与组成中国—东南亚次大陆的微大陆

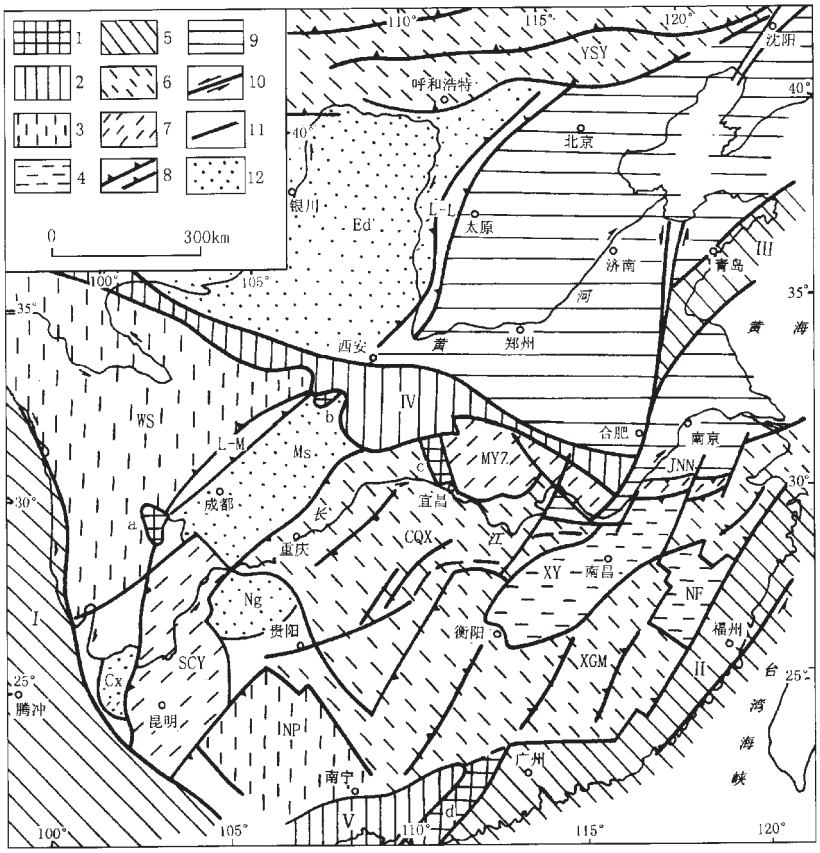


图 3 前喜马拉雅中国大陆的主要构造单元(据吴根耀[44])

1—陆核:a—康滇;b—汉南;c—黄陵;d—云开;2—印支期陆-陆碰撞造山带:Ⅳ—秦岭;Ⅴ—粤海造山带粤桂段;3—印支期陆-弧碰撞造山带:WS—川西;NP—粤海造山带滇桂段;4—印支期陆内造山带:XY—下扬子(赣北—皖南);NF—闽西北;5—燕山期板间造山带:I—滇藏;II—东南沿海;III—苏鲁;6—古缝合线活化造成的燕山期陆内造山带:CQX—川黔湘—鄂南;XGM—湘赣闽;YSY—燕山—阴山;7—古深断裂活化造成的燕山期陆内造山带:SCY—川南—滇东;MYZ—中扬子;JNN—江南;8—燕山期冲断带或冲断层(齿在上盘):L-M—龙门山;L-L—吕梁山;9—中国东部燕山期高原;10—走滑断层;11—区域性断层;12—残留的侏罗—白垩纪盆地:Cx—楚雄;Ms—川中;Ng—黔北;Ed—鄂尔多斯

Fig.3 Main pre-Himalayan tectonic units in mainland China (after Wu Genyao[44])

1-Continental nucleus: a. Xikang-Yunnan; b. Hannan; c. Huangling; d. Yunkai; 2-Indosinian continent-continent collisional orogen: Ⅳ-Qinling; Ⅴ-Guangdong-Guangxi segment of the Yue-Hai orogen; 3-Indosinian continent-arc collisional orogen: WS-West Sichuan; NP-Yunnan-Guangxi segment of the Yue-Hai orogen; 4-Indosinian intracontinental orogen: XY-Lower Yangtze (North Jiangxi-South Anhui); NF-Northwest Fujian; 5-Yanshanian interplate orogen; I-Yunnan-Tibet; II-Southeast Coast; III-Sulu; 6-Yanshanian intracontinental orogen by activation of fossil suture: CQX-Sichuan-Guizhou-Hunan-South Hubei; XGM-Hunan-Jiangxi-Fujian; YSY-Yanshan-Yinshan; 7-Yanshanian intracontinental orogen formed by activation of deep faults: SCY-South Sichuan-East Yunnan; MYZ-Middle Yangtze; JNN-Jiangnan; 8-Yanshanian thrust (teeth on the upper plate): L-M-Longmen Mountains; L-L-Lüliang Mountains.; 9-Yanshanian plateau in eastern China; 10-Strike-slip fault; 11-Regional fault; 12-Residual Jurassic-Cretaceous basin: Cx-Chuxiong; Ms-Central Sichuan; Ed-Ordos

间有过复杂的分分合合的历史,相对于中国—东南亚次大陆而言是“准原地”或“半异地”的。(3)自三叠纪开始这些地块/微大陆即向中国—东南亚次大陆发生斜向汇聚,即:这一斜向汇聚造山在中生代里是一个连续的分阶段进行的过程[8]。(4)这些地块/微大陆与中国—东南亚次大陆发生斜向碰撞之后,即沿这些北东向的走滑断裂继续向北移动并发生剪切造山。由于这些地块/微大陆明显较移置地体的规模大(今天见到的只是尚未潜入水下的部分),因而这种斜向汇聚–剪切造山明显具时间上的迁移性(南早北晚)。综上所述,该地走滑断裂自身及其两侧陆壳地块的演化,经历了一个从走滑伸展到走滑挤压的完整旋回,可称里丁旋回(Reading cycle)[53]。

中国西部也有剪切型造山作用发生,与东部明显不同有 3 点[23, 54, 55]:(1)作为碰撞后应力调整的重要方式,尤其是青藏高原隆升后地壳迅速达到均衡的一种手段,它们迟至新生代才发生。(2)走向上不表现为近北东向,如实皆断裂近南北向,哀牢山断裂为北西向,阿尔金断裂为北东东向。(3)这些走滑断裂带成组出现并控制了构造逸脱的发育,构造逸脱区的范围则逐步扩大。

作为造山机制变换的另一集中表现是陆内的 (板内的)造山运动在白垩纪时达到全盛。

陆内的造山运动可能有多种机制,如裂堑(坳拉谷)的闭合,它主要发生在古—中元古代。拼合大陆内部的古缝合线、长期发育的深断裂等因拼合大陆外侧的洋壳消减及嗣后的碰撞而激活也可控制陆内的造山运动发生。因而,印支运动时已有了古缝合线活化控制陆内造山作用的实例,如赣北地区[43],原广西期的缝合线(图 1 中的寿城—武功山带,江西境内称萍乡—广丰断裂)活化,发生陆内的造山作用,且明显表现出构造的继承性。秦岭造山带是印支期的造山带,侏罗纪时再度活化且陆内造山的各项特征表现出明显的构造继承性[41]。

白垩纪时情况有了明显的不同。由于以千公里为数量级的巨型的北东向走滑断裂在早白垩世出现并成为亚洲大陆的新生构造, 中国大陆东部的古缝合线和深断裂在早白垩世时几乎都被这一新生构造的强烈活动所激活。古缝合线和深断裂的活化主要有两种表现形式, 一是控制了区域上的构造–热事件发生即形成面状的陆内造山带,常伴以花岗岩(以白云母花岗岩及二云母花岗岩为特征)带和磨拉石盆地发育[44];二是影响的范围较窄,常不伴以花岗岩带活动,成为线型的冲断带(图 3)。前述的大兴安岭也是燕山期的陆内造山带,它与中国南方的陆内造山带明显不同点表现在下列方面。(1)后者在造山作用前普遍有一个稳定的盆地发育阶段 (除赣北—皖南和闽西北地区外,那里属印支期陆内造山带),大兴安岭则是直接上叠在一个燕山期的陆内造山带之上。(2)大兴安岭区的火成活动十分发育,岩石类型多样(从基性岩到酸性岩都有),造山带的线型特征较为明显。(3)与大兴安岭的造山作用耦合的盆地主要地表现为断陷,如松辽盆地,早白垩世初(或侏罗纪末白垩纪初) 的火山岭组和营城组火山岩指示因伸展作用而出现盆地, 火石岭组之上的沙河子组沉积期是断陷作用的全盛期,早白垩世晚期的泉头组、青山口组、姚家组和嫩江组沉积期间形成统一的大湖盆, 晚白垩世至上新世则是反转构造的发育期,仅在原盆地的中—西部仍有沉积记录[56]。笔者认为这一构造反转的应力场来自东北亚地区的移置地体在晚白垩世及古近纪时的持续增生和拼贴。

综上所述,亚洲东部地区早白垩世早期发育一个内部结构十分复杂的燕山造山带,称东亚燕山期山系;它可分为两个亚带:外亚带是板间的造山带,包括沿近北东向走滑断裂发生的斜向汇聚–剪切造山带和蒙古—鄂霍次克洋、苏鲁洋等消减及嗣后的陆–陆碰撞造山带,内亚带则是板内(陆内)的造山带[34]。早白垩世晚期—晚白垩世是其快速的坍塌期。

板内(陆内)的造山作用在新生代里仍普遍发育,主要由印度河—雅鲁藏布洋的闭合及嗣后的印度与欧亚两大板块的碰撞引起,因而在中国的西部表现明显,如天山的再度崛起。东部地区因早白垩世形成的北东向巨型走滑断裂带解体(见下述),新生代里也受这一碰撞的影响而普遍发生不同程度的活化,常被称为印度—欧亚板块碰撞的远距离效应。

4　地形–地貌的变换

地形–地貌特征常是构造事件的直观反映。印支运动后出现了大面积的陆相沉积,才有了海、陆的明显分异。白垩纪时则不仅因为高峻的山链或山系的出现而使地形–地貌出现剧烈的反差,而且地形–地貌格局也发生了彻底的变化。

晚侏罗世末早白垩世初,如前所述,中国大陆的东部及邻区是一内部结构十分复杂的燕山造山带。其西是一片陆地和山地, 主要有 3 部分:(1) 印支造山带坍塌后形成超大型侏罗—白垩纪红色盆地,尤以中国西南川滇黔大盆地(南延可经中南半岛达马来半岛)[57]和中国西北—中亚地区的大盆地[44]为典型,属相对稳定的负向构造单元。(2)印支期的碰撞高原,如川西地区和桂西南盘江地区因陆–弧碰撞形成的高原,是侏罗—白垩纪时相对稳定的正向构造单元[44]。(3)燕山运动形成的山链,包括班公湖—丁青洋盆侏罗纪时闭合及嗣后的碰撞形成的山链和印度河—雅鲁藏布洋早白垩世时的消减[58]控制发育的俯冲型造山带,滇西的兰坪—思茅及以西地区即被卷入了这一造山作用[23]。再往西(西南)是新特提斯洋,尽管它经历了早白垩世的消减后规模大为减小,晚白垩世时洋盆仍在发育[58]。可以清楚地看到:当时的地形和古地理格局是东高西低的。

应特别强调蔚为壮观的东亚燕山期山系,其规模完全可与今日的阿尔卑斯—喜马拉雅山系媲美;造山带中变形—变质相对较弱的部分即构成高原(主要由刚性程度较高的原克拉通组成,如中国东部燕山期高原[33]),其规模也可与今日之青藏高原比拟。白垩纪也是生物演化史上的一个重要变革期,恐龙的灭绝、鸟类的出现等固然可能与地外物体的撞击

有关,因山体的崛起造成环境变化、气候变冷而迫使物种变异进化(所谓"适者生存")的原因也是不能不考虑的。此外,白垩纪也是大气圈和水圈演化中的重要变换期。前者表现为"温室气候"和缺氧事件(有机碳含量增高),后者则表现为深水沉积中的黑色页岩和大洋红层大规模出现[59,60]。因而,白垩纪既是生物界的集群灭绝期,也是全球范围内烃源岩的重要沉积期。

白垩纪末古近纪初,由于以下两个原因,中国及邻区大陆的地形、地貌又发生了一次彻底的变革。一方面是由于白垩纪末新特提斯洋盆闭合,继之以印度板块与欧亚大陆的持续碰撞,阿尔卑斯—喜马拉雅山系形成,另一方面则是早白垩世晚期开始的燕山造山带的坍塌在晚白垩世达到全盛,古新统中的海相夹层[33]说明燕山期的高原或山系已不复存在,新生代的伸展盆地直接叠在燕山造山带的坍塌裂谷上。今日的地貌表现为西高东低(或西山东水),西部是被誉为"世界屋脊"或"地球第三极"的青藏高原和喜马拉雅等巨大山脉,向东地形呈台阶状渐次降低。

5 "盆""山"系统的变换

5.1 盆地发育的东、西分异

如前所述,中国及邻区大陆的构造演化自白垩纪起发生东、西两部的分异,这在盆地发育上表现得尤为突出。除盆地延伸方向不同外,东、西部盆地间的差异还表现在以下方面(图 1):(1)西部的晚中生代—新生代盆地几乎都有刚性基底(发育在克拉通地块上),东部则有相当一部分盆地可能发育在古生代增生的火山-沉积楔上,没有刚性基底。(2)作为构造盆地,西部的盆地周边常被缝合线或冲断带所围限;东部的盆地则常见一侧或两侧为北东向走滑断裂,这些走滑断裂对盆地发育有明显的控制作用[61,62]。(3)除青藏高原外,西部地区的盆地大都是冷盆,东部构造活动性强,盆地多为热盆,因而在断陷阶段之后有一个热沉陷阶段[63]。(4)西部的盆地发育中表现出较强的构造继承性,东部的盆地发育中构造的新生性显然起了主导作用。(5)构造应力场不同,西部地区白垩纪以来一直处于挤压隆升状态,东部地区新生代里则因亚洲大陆向太平洋的蠕散而处于伸展解体状态。

5.2 海西—印支期"盆""山"关系的继承或解脱

海西—印支运动是亚洲大陆的形成中极重要的一次造山运动,在广大的地域里构建起海西—印支期的"盆""山"耦合关系。在中国及邻区大陆的西部,新特提斯演化的运动学特征与古特提斯不乏相似之处,因而燕山运动时海西—印支运动构建的"盆""山"耦合关系能得以继承;喜马拉雅运动尽管使大部分地区的海西—印支期的"盆""山"关系解脱,仍有少数地区能继承海西—印支期的"盆""山"耦合关系,如准噶尔盆地[40]。东部地区则不同,由于早白垩世时巨型的北东向构造已经形成且发生强烈的活动,绝大部分地区海西—印支期构建的"盆""山"耦合关系已经解脱(为燕山运动构建的"盆""山"耦合关系取代),仅在少数相对稳定的地区,如鄂尔多斯盆地、四川盆地(这两者属负向构造单元)、南盘江印支期陆-弧碰撞高原(正向构造单元)[64]等地燕山运动表现较弱,海西—印支期的"盆""山"耦合关系直到喜马拉雅运动才解脱。

5.3 "盆""山"系统的复杂性

海西—印支运动时造山作用的类型较为单一,主要为碰撞型造山作用(包括陆-陆碰撞和陆-弧碰撞,后者也称增生弧型造山作用)。海西期的俯冲型造山作用主要见于古特提斯主洋盆,但记录保存较差,因那里印支期的陆-陆碰撞作用十分强烈。印支运动时尽管已有古缝合线活化控制发育的陆内造山作用,但地区较为局限。因而海西—印支运动时"盆""山"系统的面貌较为简单。

白垩纪开始,中国大陆西部的"盆""山"系统面貌仍较为简单,如准噶尔盆地,北天山冲断带与该盆地构成的"盆""山"系统自二叠纪起一直保持至今[40]。塔里木盆地在新生代里则分属 3 个"盆""山"系统:库车坳陷(及塔北隆起、北部坳陷)与南天山构成一个"盆""山"系统,东南坳陷与阿尔金山构成另一个"盆""山"系统,西南坳陷则与西昆仑山构成一个"盆""山"系统。由于西昆仑造山的挤压应力向盆内扩展时受到塔中隆起的阻挡,阿尔金作为剪切造山带影响的范围较窄,因而塔里木盆地中—北部的油气资源保存较好。

东部地区,白垩纪开始的"盆""山"系统面貌复杂。时间上,同一地区可以发生多次"盆""山"系统的更迭;空间上,即使是一个范围相对小的盆地,也可能同时受两个或几个造山带演化的控制。前者的情况十分常见,如湘西的沅(陵—)麻(阳)盆地中见两套磨拉石,中侏罗统泸阳组与川黔湘—鄂南褶皱冲断系构成一个"盆""山"系统,下白垩统洞下场组、小洞组和锦江组则与湘赣闽褶皱冲断系构成另一个"盆""山"系统[40]。浙闽交界处,晚侏罗世的磨拉石与湘赣闽褶皱冲断系构成一个"盆""山"系统,早白垩世磨拉石(方岩组)则是东南沿海区沿长乐—南澳断裂发生的斜向汇聚-剪切造山作用的产物(这一造山作用在早白垩世晚期已经停止),晚白垩世的磨拉石又是湘赣闽褶皱冲断系活动的记录,即:控制湘赣闽褶皱冲断系形成的陆内造山作用可分为两期,早期的冲断作用自浙闽西部后展式地扩展到湘赣交界处,晚期的冲断作用的扩展方式发生了变化,一方面是继续后展式地(有序地)扩展到湘西并控制了沅麻盆地的第 II 期磨拉石,另方面则是前展式地(无序地)向浙闽地区扩展[65]并再度控制了那里的磨拉石盆地发育。

一个盆地的发育受两个或几个造山带演化控制的实例也十分常见。如赣中—北地区白垩纪的鄱阳盆地发育受两个不同走向的造山带演化控制,一是近南北向延伸的赣江断裂的左行走滑,二是燕山陆内造山带的坍塌,原冲断裂发生负反转(走向近北东东向)[47]。赣东地区(或赣闽交界处)早白垩世磨拉石盆地受两个均为北东走向的造山带控制,一是陆内造山带即湘赣闽褶皱冲断系的中带(赣东带),它控制的磨拉石建造在晚侏罗世即已发育(鹅湖岭组),并延入早白垩世早期(石溪组),二是前述的东南沿海斜向汇聚-剪切造山作用,

其山体的东界大致位于江西省界以东[66],因而对该地的盆地发育有控制作用。因为盆地内既保存了构造活跃阶段又保存了构造平静阶段的地质记录,故笔者强调正确地认识盆地的世代更迭是盆地研究的基础;对构造活跃阶段发育的盆地,应在给定时间约束的前提下正确地划分"盆""山"系统[67]。

之所以在白垩纪开始出现如此复杂的"盆""山"耦合和脱耦面貌(尤其在中国大陆东部),除了前面已提到的造山作用类型的多样化、出现北东向的新生构造、中国及邻区的构造演化发生东、西分异和印度—欧亚板块碰撞的陆内响应等原因外,可能还与下列因素有关。

一是巨大的北东向走滑断裂带迅速解体。如早白垩世形成的郯庐断裂带,当时可能北起鄂霍次克海、斜贯东北和鲁皖至江西中部,均表现为左行走滑。晚白垩世时,渤海及以南地区因造山带的坍塌,沿郯庐断裂带发育断陷或拉分盆地[68,69];东北地区则因移置地体的持续拼贴而敦化—密山断裂、依兰—伊通断裂和长春—哈尔滨断裂均处于挤压状态(沿这 3 条断裂无上白垩统发育),说明原郯庐断裂带的南、北段已具不同的活动方式。古近纪内郯庐断裂带的解体进一步加剧,渤海湾地区为右行走滑[70],不同于郯庐段的左行走滑。至更新世时,原郯庐断裂带的江西段(赣江断裂)、郯庐段、山东段(沂沐断裂)和辽渤段等已表现出明显不同的活动方式和地貌特征。

二是出现了走向北北东的新生构造。如前述的湘赣闽褶皱冲断系,早期的冲断活动是北东向构造,晚期的冲断活动是北北东向构造,说明北北东向构造在晚白垩世时出现。它在新生代进一步发育(尤其在中国及邻区的东部),曾被称为新华夏系。尽管部分地区可见北北东向断裂出现后北东向断裂停止活动,总体看新生代时这两者是共存的。

三是地块的旋转。地史期间地块常被海域围绕,因而在向北的远距离"漂移"中容易发生旋转。亚洲大陆形成后,陆内不同方向的走滑断裂的剪切活动控制夹持其间的地块发生旋转,如因印度板块的楔入导致云南西部及邻区的构造逸脱中,思茅地块发生持续的顺时针旋转[71]。此外,为吸收变形量陆内还有大量的剪切断裂连接不同方向的张裂带或挤压带[23]。

6 结　语

如同任何事物的发展都需要量的积累才能引起质的飞跃一样,白垩纪是中国及邻区板块构造演化史上的一个质的飞跃时期。通俗地说,白垩纪和白垩纪之前,是一系列的小陆块不断地增生和碰撞,拼合出今天的亚洲大陆;亚洲大陆的雏形出现之后,则是其边缘地区不断地张裂解体,大陆内部构造日趋复杂。中生代晚期(尤以白垩纪为最)既是新元古代—早中生代与新生代构造演化上的一个承前启后的时期,更是板块演化史上的一个重要变换期。本文从地球动力学系统、构造格局、造山机制和造山作用类型、地形–地貌和"盆""山"系统等 5 个方面,简要论述了这一变换作用。

探讨中国及邻区板块构造演化的空间特征,应特别强调构造格局由原来的南、北分异在白垩纪变为东、西两部的分异。文中提到的地球动力学系统的交换、北东向巨大走滑断裂的出现、造山作用类型的多样化、盆地发育和"盆""山"系统的复杂性等内容,实际上都在中国及邻区构造的东、西分异上得到体现。该区的西部白垩纪以来以构造的继承性为特色,东部则新生构造起了主要作用。

从内生矿产和油气资源的预测和评价看,中国及邻区有其共性,如"二次生烃"和"晚期成藏"。笔者强调研究盆地发育和识别"盆""山"系统都应置于中国及邻区的东、西分异这个大背景中,不但盆地与盆地间有差别,一个盆地内部也可能受几个造山带(或构造带)演化制约而表现出复杂的面貌。在研究内生矿产的区域成矿规律时也应考虑这一大背景,方能在勘探上取得新的突破。

中国及邻区新元古代以来的板块构造演化,阶段性明显,已有不少精彩的总结[72]。本文强调地球动力学系统、构造格局、造山作用类型和"盆""山"系统等在白垩纪时发生重要变换,这些变换集中体现在中国及邻区中生代晚期以来大地构造演化的东、西分异上。不妥之处,敬请指正。

参考文献 (References):

[1] 吴根耀.华南及邻区特提斯演化[A].见:曹佑功主编.全球构造带,超大陆形成与裂解[C].北京:地质出版社,1998. 46~63.
Wu Genyao.Tethyan evolution in South China and its environs [A]. In:Xiao X C, Liu H F (eds.). Global Tectonic Zones, Supercontinent Formation and Disposal [C]. Utrecht:VSP, 1997. 55~76.

[2] Wu G Y. Early Paleozoic accretion and amalgamation in a Gondwana-originated China [J]. Acta Universitatis Carolinae – Geologica, 1998, 42(3-4):501~507.

[3] Wu G Y. Main tectonic units and geological evolution in South China and its environs:in the light of Gondwana dispersion and Asian accretion [A]. In:Metcalfe I (ed. in chief). Gondwana Dispersion and Asian Accretion [C]. Rotterdam:Balkema, 1999. 315~340.

[4] 吴根耀.华南的格林威尔造山带及其坍塌:在罗迪尼亚超大陆演化中的意义[J].大地构造与成矿学,2000,24(2):112~123.
Wu Genyao. Grenville orogens in South China and their collapse: implications for evolution of the supercontinent Rodinia [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2000, 24(2):112~123 (in Chinese with English abstract).

[5] Wu Genyao, Tang Jiafu. Wugong Mts. region as a Caledonian medium-high pressure metamorphic belt:evidence from b_0 values of white micas [J]. Geotectonica et Metallogenia (English ed.), 1997, 21(1~2):50~55.

[6] 李江海,穆剑.我国境内格林威尔期造山带的存在及其对中元古代末期超大陆再造的制约[J].地质科学,1999,34(3):259~272.
Li Jianghai, Mu Jian. Tectonic constraints from Chinese cratonic blocks for the reconstruction of Rodinia [J]. Chinese Journal of Geology (formerly, Scientia Geologica Sinica), 1999, 34(3):259~272

(in Chinese with English abstract).

[7] 樊金涛.苏北蛇绿岩[J].桂林工学院学报,1998,18(2):136~144.
Fan Jintao. Ophiolite in northern Jiangsu [J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 1998, 18(2):136~144 (in Chinese with English abstract).

[8] 吴根耀,马力,陈焕疆,等.苏皖地块构造演化、苏鲁造山带形成及其耦合的盆地发育[J].大地构造与成矿学,2003,27(4):337~353.
Wu Genyao, Ma Li, Chen Huanjiang, et al. Tectonic evolution of the Su-Wan Block, creation of the Su-Lu orogen and orogenesis-coupled basin developing [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2003, 27(4):337~353 (in Chinese with English abstract).

[9] 张臣,吴泰然.内蒙古温都尔庙群变质基性火山岩 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素年代研究[J].地质科学,1998,33(1):25~30.
Zhang Chen, Wu Tairan. Sm-Nd, Rb-Sr isotopic isochron of metamorphic volcanic rocks of Ondor Sum Group, Inner Mongolia [J]. Chinese Journal of Geology (formerly, Scientia Geologica Sinica), 1998, 33(1):25~30 (in Chinese with English abstract).

[10] 何国琦,李茂松,刘德权,等.中国新疆古生代地壳演化及成矿[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,香港:香港文化教育出版社,1994.437.
He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, et al. Paleozoic Crustal Evolution and Mineralization in Xinjiang of China [M]. Ürümqi:Xinjiang People's Publishing House, Hongkong:Educational and Cultural Press Ltd., 1994. 437 (in Chinese with English abstract).

[11] 张文佑.断块构造导论 [M].北京:石油工业出版社,1984.385.
Zhang Wenyao. An Introduction to Fault-Block Tectonics [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1984. 385 (in Chinese).

[12] 郝杰,翟明国.罗迪尼亚超大陆与晋宁运动和震旦系[J].地质科学,2004,39(1):139~152.
Hao Jie, Zhai Mingguo. Jinning movement and Sinian System in China:their relationship with Rodinia supercontinent [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(1):139~152 (in Chinese with English abstract).

[13] 乔秀夫,张安棣.华北块体,胶辽朝块体与郯庐断裂[J].中国地质,2002,29(4):337~345.
Qiao Xiufu, Zhang Andi. North China block, Jiao-Liao-Korea block and Tanlu fault [J]. Geology in China, 2002, 29(4):337~345 (in Chinese with English abstract).

[14] 吴根耀,陈焕疆,马力,等.苏皖地块——特提斯演化阶段独立的构造单元[J].古地理学报,2002,4(2):77~87.
Wu Genyao, Chen Huanjiang, Ma Li, et al. Su-Wan Block:an independent tectonic unit during period of Tethyan evolution [J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(2):77~87 (in Chinese with English abstract).

[15] 邵济安,唐克东,等.中国东北地体与东北亚大陆边缘演化 [M].北京:地震出版社,1995.185.
Shao Ji'an, Tang Kedong, et al. Terranes in Northeast China and Evolution of Northeast Asia Continental Margin [M]. Beijing:Seismological Press, 1995. 185 (in Chinese with English abstract).

[16] Coleman R G. Continental growth of Northwest China [J]. Tectonics, 1989, 8:621~635.

[17] Sengör A M C, Okurogullari A. The role of accretionary wedges in the growth continents:Asiatic examples from Argand to plate tectonics [J]. Eclogae Geol. Helv., 1991, 84(3):535~597.

[18] Sengör A M C. Turkic-type orogeny in the Altaids:Implications for the evolution of continental crust and methodology of regional tectonic analysis [J]. Transactions of the Leicester Literary and Philosophical Society, 1993, 84(3):535~597.

[19] Sengör A M C, Natalin B A, Burtman V S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia [J]. Nature, 1993, 364:299~307.

[20] 谢鸣谦. 拼贴板块构造及其驱动机理——中国东北及邻区的大地构造演化 [M].北京:科学出版社,2000.256.
Xie Mingqian. Matched Plate Tectonics and Its Dynamics:Tectonic Evolution of Northeast China and Neighboring Areas [M]. Beijing:Science Press, 2000. 256 (in Chinese).

[21] 邵济安,唐克东.蛇绿岩与古蒙古洋的演化[A].见:张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究[C].北京:地质出版社, 1996.117~120.
Shao Ji'an, Tang Kedong. Ophiolites and evolution of the Paleo-Mongolian ocean [A]. In:Zhang Qi (ed.). Study on Ophiolites and Geodynamics [C]. Beijing:Geological Publishing House, 1996. 117~120 (in Chinese with English abstract).

[22] 唐克东,王莹,何国琦, 等.中国东北及邻区大陆边缘构造[J].地质学报,1995,69(1):16~30.
Tang Kedong, Wang Ying, He Guoqi, et al. Continental marginal tectonics in Northeast China and neighboring areas [J]. Acta Geologica Sinica, 1995, 69(1):16~30 (in Chinese with English abstract).

[23] 吴根耀.造山带地层学[M].成都:四川科学技术出版社,乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2000.218.
Wu Genyao. Orogen-Stratigraphy [M]. Chengdu:Sichuan Science and Technology Press, Ürümqi:Xinjiang Science, Technology and Hygiene Press, 2000. 218 (in Chinese with English abstract).

[24] Wu Genyao. Late Paleozoic tectonic framework and Paleotethyan evolution in western Yunnan, China[J]. Scientia Geologica Sinica, 1993, 2(2):129~140.

[25] 钟大赉,等.滇川西部古特提斯造山带[M].北京:科学出版社,1998.231.
Zhong Dalai, et al. Paleotethysides in West Yunnan and Sichuan, China[M]. Beijing:Science Press, Utrecht:VSP, 2000. 248.

[26] Wu Genyao, Sun Xiaomeng, Zhong Dalai. Structural Geology of the Central Sector of the Hengduan Mountains[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1996. 40.

[27] 吴根耀,王晓鹏,钟大赉,等.川滇藏交界区二叠纪—早三叠世的两套弧火山岩[J].地质科学,2000,35(3):350~362.
Wu Genyao, Wang Xiaopeng, Zhong Dalai, et al. Two arc volcanics suites of Permian-Early Triassic bordering Sichuan, Yunnan and Xizang, China [J]. Chinese Journal of Geology (formerly, Scientia Geologica Sinica), 2000, 35(3):350~362 (in Chinese with English abstract).

[28] 耿全如,潘桂棠,郑来林,等.藏东南雅鲁藏布蛇绿混杂岩带的物

质组成及形成环境[J].地质科学,2004,39(3):388~406.
Geng Quanru, Pan Guitang, Zheng Lailin, et al. Petrological characteristics and original settings of the Yarlung Tsangpo ophiolitic mélange in Namche Barwa, SE Tibet [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(3):388~406 (in Chinese with English abstract).

[29] Hutchison C S. Geological Evolution of South-East Asia [M]. Oxford:Clarendon Press, 1989. 253~275.

[30] Zorin Yu A, Belichenko V G, Turutanov E Kh, et al. The East Siberia transect [J]. International Geological Review, 1995, 37(2): 154~175.

[31] Wu Genyao, Yano T, Inomata M. Yanshanian orogenics in South China:a relation to Neotethyan evolution [J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 7(1):1~10.

[32] 吴根耀.断块学说与裂谷研究 [A].见:孙枢等主编.断块构造理论及其应用[C].北京:科学出版社,1998.204~212.
Wu Genyao. Fault-block tectonics and study of rift [A]. In:Sun Shu, et al (eds.). Theory and Application of Fault-Block Tectonics [C]. Beijing:Science Press, 1998. 204~212 (in Chinese with English abstract).

[33] 吴根耀,陈焕疆,马力,等.中国东部燕山期高原的发育及对矿产和油气资源评价的启示[J].石油实验地质,2002,24(1):3~12.
Wu Genyao, Chen Huanjiang, Ma Li, et al. Occurring of the East China Yanshanian Plateau and its inspiration to mineral and petroleum resource's evaluation [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(1):3~12 (in Chinese with English abstract).

[34] Wu Genyao. The Yanshanian orogeny and two kinds of Yanshanides in central-eastern China [J]. Acta Geologica Sinica (English ed.), 79(4):507~518.

[35] 张文佑,钟嘉猷.中国断裂构造体系的发展[J].地质科学,1977,(3):197~209.
Zhang Wenyou, Zhong Jiayou. Development of fractural tectonic system in China [J]. Chinese Journal of Geology (formerly, Scientia Geologica Sinica), 1977, (3):187~209 (in Chinese with English abstract).

[36] 蔡学林,朱介寿,曹家敏,等.东亚西太平洋巨型裂谷体系岩石圈与软流圈结构及动力学[J].中国地质,2002,29(3):234~245.
Cai Xuelin, Zhu Jieshou, Cao Jiamin, et al.Structure and dynamics of lithosphere and asthenosphere in the gigantic East Asian-west Pacific rift system [J].Geology in China, 29 (3):234~245.(in Chinese with English abstract).

[37] 袁学诚.论中国西部岩石圈三维结构及其对寻找油所资源的启示[J].中国地质,2005,32(1):1~12.
Yuan Xuecheng.3D lithospheric structure of western China and its enlightment on petroleum prospecting [J].Geology in China, 2005,32(1):1~12 (in Chinese with English abstract).

[38] Hayama Y, Inomata M, Koido Y, et al. Comparative geological study between Fujian region in China and Inner Zone of southeast Japan [J]. Scientia Geologica Sinica, 1996, 5(4):425~434.

[39] 赵文智,张光亚,何海清,等. 中国海相石油地质与叠合含油气盆地[M]. 北京:地质出版社,2002,360.
Zhao Wenzhi,Zhang Guangya,He Haiqing,et al. Marine Petroleum Geology and the Composite Petroliferous Basin [M]. Beijing:Geologigical Publishing House,2002.360 (in Chinese with English abstract).

[40] 吴根耀,马力."盆""山"耦合和脱耦在含油气盆地分析中的应用[J].石油实验地质,2003,25(6):648~660.
Wu Genyao, Ma Li. Orogeny and coupled/decoupled basin devel oping:application in petroliferous basin analyses [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(6):648~660 (in Chinese with English abstract).

[41] 孙晓猛,吴根耀,郝福江,等.秦岭—大别造山带北部中—新生代逆冲推覆构造期次及时空迁移规律[J].地质科学,2004,39(1):63~76.
Sun Xiaomeng, Wu Genyao, Hao Fujiang, et al. Epochs and space-time migration of Meso-Cenozoic thrust-nappe tectonics in the north Qinling-Dabie orogen [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(1):63~76 (in Chinese with English abstract).

[42] 朱蓉,楼章华,金爱民,等.鄂尔多斯盆地上古生界深盆气藏流体动力学特征及成藏过程分析[J].地质科学,2003,38(1):31~43.
Zhu Rong, Lou Zhanghua, Jin Aimin, et al. Analysis on fluid dynamics and formation process of deep basin gas trap in Upper Paleozoic of the Ordos Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38 (1):31~43 (in Chinese with English abstract).

[43] 吴根耀.古缝合线活化和华南中生代陆内造山运动 [A].见:中国地质学会编. 第 31 届国际地质大会中国代表团学术论文集[C].北京:地质出版社,2001.32~39.
Wu Genyao. Rejuvenation of fossil sutures and related Mesozoic intracontinental orogens in South China [J]. Acta Geologica Sinica (English ed.), 2000, 74(2):194~200.

[44] 吴根耀.燕山运动和中国大陆晚中生代的活化[J].地质科学,2002,37(4):453~461.
Wu Genyao. The Yanshanian orogeny and Late Mesozoic activation in China continent [J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37 (4):453~461 (in Chinese with English abstract).

[45] 梁兴,吴根耀,叶舟,等.白垩—古近纪鄱阳盆地的基底构造特征[J].地质科学,2005,40(3):415~420.
Liang Xing, Wu Genyao, Ye Zhou, et al. Features of basement structures in the Cretaceous-Eogene Poyang Basin[J].Chinese Journal of Geology, 2005, 40(3):415~420 (in Chinese with English abstract).

[46] 吴根耀,马力."盆""山"耦合和脱耦:进展,现状和努力方向[J].大地构造与成矿学,2004,28(1):81~97.
Wu Genyao, Ma Li. Orogeny and coupled/decoupled basin development:a review [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(1): 81~97 (in Chinese with English abstract).

[47] 和政军,李锦轶,牛宝贵,等.燕山—阴山地区晚侏罗世强烈推覆-隆升事件及沉积响应 [J].地质论评,1998,44(4):407~418.
He Zhengjun, Li Jinyi, Niu Baogui, et al. A Late Jurassic intense thrusting-uplifting event in the Yanshan-Yinshan area, northern China, and its sedimentary response [J]. Geological Review, 1998,

44(4):407~418 (in Chinese with English abstract).

[48] 张昱,赵焕力,李仰春,等.大兴安岭北段根河地区早白垩世火山杂岩特征及成因探讨[J].中国地质,2005,32(3):405~410.
Zhang Yu, Zhao Huanli, Li Yangchun,et al. Characteristics of Early Cretaceous volcanic complexes in the Genhe area in the northern segment of the Da Hinggan Mountains: with a discussion of their genesis[J].Geology in China, 2005,32(3):405~410 (in Chinese with English abstract).

[49] 吴汉宁,常承法,刘椿,等.依据古地磁资料探讨华北和华南块体运动及其对秦岭造山带构造演化的影响[J].地质科学,1990,25(3):201~213.
Wu Hanning, Chang Chengfa, Liu Chun, et al. Evolution of the Qinling fold belt and the movement of the North and South China Blocks:the evidence of geology and paleomagnetism [J]. Chinese Journal of Geology (formerly, Scientia Geologica Sinica), 1990, 25(3):201~213 (in Chinese with English abstract).

[50] 李曰俊,孙龙德,吴浩若,等.南天山西端乌帕塔尔坎群发现石炭—二叠纪放射虫化石[J].地质科学,2005,40(2):220~226.
Li Yuejun, Sun Longde, Wu Haoruo, et al. Permo-Carboniferous radiolarian from the Wupatarkan Group, west terminal of Chinese South Tianshan [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(2):220~226 (in Chinese with English abstract).

[51] 汪新, Hubert-Ferrari A, Suppe J. 晚更新世以来南天山阿克苏地区地壳缩短率[J].地质科学,2001,36(2):195~202.
Wang Xin, Hubert-Ferrari A, Suppe J. Shortening rate since Late Pleistocene in Aksu area, southern flank of Tianshan, China [J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36(2):195~202(in Chinese with English abstract).

[52] Howell D G, Jones D L, Schermer E R. Tectonostratigraphic terranes of the Circum-Pacific region. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 1985. 3~30.

[53] 刘和甫,李晓晴,刘立群,等.走滑构造体系盆山耦合与区带分析[J].现代地质,2004,18(2):139~150.
Liu Hefu, Li Xiaoqing, Liu Liqun, et al. Petroleum play analysis and strike slip system basin-mountain coupling [J]. Geoscience, 2004, 18(2):139~150 (in Chinese with English abstract).

[54] 吴根耀.盆地研究的活动论构造观[J].石油实验地质,1998,20(4):309~318.
Wu Genyao. A tectonic outlook of mobilism on basin study [J]. Experimental Petroleum Geology, 1998, 20 (4):309~318 (in Chinese with English abstract).

[55] 吴根耀,马力.试论"盆""山"的耦合和脱耦及其运动学[J].石油实验地质,2003,25(2):99~109,115.
Wu Genyao, Ma Li. An approach to orogenesis-coupled/decoupled basin development and its kinematics [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(2):99~109, 115 (in Chinese with English abstract).

[56] 胡望水,吕炳全,张文军,等.松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨[J].地质科学,2005,40(1):16~31.
Hu Wangshui, Lü Bingquan, Zhang Wenjun, et al. An approach to tectonic evolution and dynamics of the Songliao Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(1):16~31 (in Chinese with English abstract).

[57] 吴根耀.中国滇西—泰国地区侏罗纪—第四纪盆地发育及其对比研究[J].地质科学,1991,26(4):359~368.
Wu Genyao. Development of Jurassic-Quaternary basins in western Yunnan, China, and Thailand:a comparative study [J]. Chinese Journal of Geology (formerly, Scientia Geologica Sinica), 1991, 26(4):359~368 (in Chinese with English abstract).

[58] 吴根耀,王晓鹏,钟大赉.藏东南地区早白垩世的安第斯型弧火山岩[J].岩石学报,1999,15(3):422~429.
Wu Genyao, Wang Xiaopeng, Zhong Dalai. Early Cretaceous Andean-type arc volcanics in SE Xizang, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(3):422~429 (in Chinese with English abstract).

[59] 万晓樵,刘文灿,李国彪,等.白垩纪黑色页岩与海水含氧量变化——以西藏南部为例[J].中国地质,2003,30(1):36~47.
Wan Xiaoqiao, Liu Wencan, Li Guobiao,et al. Cretaceous black shale and dissolved oxygen content——A case study in southern Tibet[J]. Geology in China,2003,30(1):36~47(in Chinese with English abstract).

[60] 胡修棉.白垩纪"温室"气候与海洋[J].中国地质,2004,31(4):442~448.
Hu Xiumian.Greenhouse climate and ocean during the Cretaceous [J]. Geology in China,2004,31 (4):442~448 (in Chinese with English abstract).

[61] Zhang Yueqiao,Dong Shuwen,Shi Wei. Cretaceous deformation history of the middle Tan-Lu fault zone in Shandong Province[J]. Tectonophysics,2003,363:243~258.

[62] 张岳桥,赵越,董树文,等. 中国东部及邻区早白垩世裂陷盆地构造演化阶段[J]. 地学前缘,2004,11(3):123~133.
Zhang Yueqiao, Zhao Yue, Dong Shuwen,et al.Tectonic evolution stages of the Early Cretaceous rift basins in eastern China and adjacent areas and their geodynamic background[J]. Earth Science Frontiers,2004,11(3):123~133(in Chinese with English abstract).

[63] Ren Jianye,Tamaki K,Li Sitian,et al.Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in eastern China and adjacent areas [J]. Tectonophysics,2002,344:175~205.

[64] 吴根耀,马力,钟大赉,等.滇桂交界区印支期增生弧型造山带:兼论与造山作用耦合的盆地演化[J].石油实验地质,2001,23(1):8~18.
Wu Genyao, Ma Li, Zhong Dalai, et al. Indosinian Turkic-type orogen bordering Yunnan and Guangxi:with reference to coupled basin evolution [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(1):8~18 (in Chinese with English abstract).

[65] 吴根耀,马力.试论"盆""山"耦合和脱耦研究的方法学[J].石油与天然气地质,2004,25(3):239~246.
Wu Genyao, Ma Li. Methodology of studying coupling and decoupling of "basin" and "range" [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(3):239~246 (in Chinese with English abstract).

[66] 陈丕基.晚白垩世中国东南沿岸山系与中南地区的沙漠和盐湖

化[J].地层学杂志,1997,21(3):203~212.
Chen Piji. Coastal mountains of SE China, desertization and salinferous lakes of central China during the Upper Cretaceous[J]. Journal of Stratigraphy, 1997, 21(3):203~212 (in Chinese with English abstract).

[67] 吴根耀,马力."盆""山"耦合和脱耦的反转点和切入点研究[J].石油实验地质,2005,27(1):8~17,24.
Wu Genyao, Ma Li. An approach to the study of inversion points and tangency-in points for orogeny and coupled/decoupled basin development [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(1): 8~17, 24 (in Chinese with English abstract).

[68] 朱光,王道轩,刘国生,等.郯庐断裂带的演化及其对西太平洋板块运动的响应[J].地质科学,2004,39(1):36~49.
Zhu Guang, Wang Daoxuan, Liu Guosheng, et al. Evolution of the Tan-Lu fault zone and its response to plate movements in west Pacific Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(1):36~49 (in Chinese with English abstract).

[69] 周建波,程日辉,刘建辉.郯庐断裂中段管帅拉分盆地的确定及其构造意义[J].地质科学,2005,40(4):486~498.
Zhou Jianbo, Cheng Rihui, Liu Jianhui. Determination of Guanshuai pull-apart basin along the middle sector of Tan-Lu fault and its tectonic implications [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40 (4):486~498 (in Chinese with English abstract).

[70] 漆家福.渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释[J].中国地质,2004,31(1):15~22.
Qi Jiafu. Two tectonic systems in the Cenozoic Bohai Bay basin and their genetic interpretation [J]. Geology in China, 2004, 31(1): 15~22 (in Chinese with English abstract).

[71] Wang E, Burchfiel B C. Interpretation of Cenozoic tectonics in the right-lateral accommodating zone and the eastern Himalayan Syntaxis [J]. International Geological Review, 1997, 39:191~219.

[72] 任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京:地质出版社,1999.1~50.
Ren Jishun, Wang Zuoxun, Chen Bingwei, et al. Chinese Geotectonics (vs Global Tectonics)——Brief of Geotectonic Sketch of China and Adjacent Regions[M].Beijing:Geological Publishing House,1999.1~50(in Chinese).

Cretaceous: A key transition period of the plate tectonic evolution in China and its adjacent areas

WU Gen-yao

(*Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029, *China*)

Abstract: The Asian continent (mainland China and its adjacent areas) is a composite one formed by multi-stage accretion and collision of a number of microcontinents (cratons) and blocks of different origins. The Hercynian-Indosinian cycle and Neo-Tethyan cycle played a decisive role in its formation. At the end of the Jurassic and the beginning of the Cretaceous, the Neo-Tethys ocean (which is called the Mid-Tethys by some people) closed and the embryonic Asian continent occurred. At the end of the Cretaceous, the Neo-Tethys ocean was consumed and the Asian continent originated; therefore the Cretaceous was an important transition period of the plate tectonic evolution of China and its adjacent areas. This paper discusses this transition in the contexts of the transitions of geodynamic system and tectonic framework, appearance of the NE-trending neogenic structures and diversity of orogeny. This transition is mainly manifested by the transformation of north-south differentiation to east-west differentiation in the region during the Cretaceous. The western part is characterized by the tectonic inheritance, while in the eastern part the neogenic structures played the main role. Geomorphologically, the region was high in the east and low in the west in the Early Cretaceous, while the present-day geomorphologic feature of being high in the west and low in the east began to appear at the end of the Cretaceous. The "basin-and-range" system also began to change significantly in the Cretaceous, which suggests that the margin of the East Asian continent was disintegrated progressively in response to its creep and dispersion toward the Pacific plate, and then the tectonics in the interior of the continent became increasingly complex. This case study further indicates that we must adhere in the tectonic concept of mobilism and reconstruct the regional tectonic evolution with the idea of dynamic evolution.

Key words: Cretaceous; plate evolution; tectonic transition; China and its adjacent area; east-west differentiation

About the author: WU Gen-yao, male, born in 1946, doctor, senior researcher, mainly engages in the study of tectonics of the China continent; E-mail: dzkx@mail.igcas.ac.cn.