

滇西三江地区中生代盆—山动力学耦合初论

杨鑫^{1,2)}, 刘燕红³⁾, 孙国强¹⁾, 刘兴旺^{1,2)}, 王保忠^{1,2)}, 郑建京¹⁾

1) 中国科学院油气资源研究重点实验室, 兰州, 730000;

2) 中国科学院研究生院, 北京, 100049;

3) 中国石油华北油田公司山西煤层气勘探开发分公司地质研究所, 山西晋城, 048000

内容提要: 盆地和相邻造山带在动力学机制上的耦合关系是当前大陆动力学研究的热点, 滇西三江地区中—新生代盆山格局是开展这一研究的典型实例。晚三叠世思茅盆地从前陆盆地向裂谷盆地的转换过程, 与造山带演化的主碰撞阶段和后碰撞阶段相关, 是研究的切入点。通过分析研究区中—新生代盆—山耦合过程及其沉积响应、地球物理和岩浆岩地球化学特征来探讨其深部动力学过程的一致性和连续性。研究表明三江地区中—新生代盆山演化经历了“盆转山”(T₁—T₂)、“山控盆”(T₃—E₁)以及盆—山共变(E₂—Q)三个阶段; 思茅陆相断陷湖盆通过盆地内沉积相迁移、层序建造、基底变形, 尤其是沉积旋回来响应深部动力学过程; 岩石圈速度结构剖面揭示出思茅盆地的下地壳和岩石圈地幔P波速度增大, 莫霍面加深; 结合思茅盆地两侧中生代岩浆岩活动期次和地球化学特征, 底侵作用、拆沉作用和俯冲板片断离作用可能是盆山动力学耦合的深部作用模式。

关键词: 盆山动力学; 壳幔作用; 盆山耦合; 沉积响应; 特提斯; 盆地转换

盆—山耦合是指造山过程与盆地演化间有统一的运动学过程和动力学机制(吴根耀等, 2004), 当前的研究主要集中于造山带和前陆盆地的耦合关系、沉积作用对盆山转换过程的响应(刘和甫等, 1994, 2000; 刘池洋等, 2005; 李勇等, 2000; 吴根耀等, 2001; 李继亮等, 2003), 但对于盆地转换过程的深部动力学机制还缺乏足够认识, 而美国地球动力学委员会(NRC)和国际岩石圈计划(ILP)都设立专项研究深部过程与表层构造运动的耦合关系(Chanell et al., 1989; Dewey et al., 1989), 因此, 盆—山动力学机制上的耦合过程是当前大陆动力学的前沿问题。

处于特提斯构造域背景中的三江地区, 即云南省西部的怒江、澜沧江和金沙江及其相间区域, 于中生代形成独特的盆山格局, 并在新生代遭受强烈改造。兰坪—思茅盆地是夹持于澜沧江造山带和哀牢山造山带之间的一个中生代陆相“红盆”, 其盆地性质发生了从印支期弧后前陆盆地向燕山期裂谷盆地的转换过程(陈跃昆等, 2004)。这种盆地负反转过程, 直接用板块构造理论是难以解释的, 主要受控于相邻造山带演化, 是探讨盆—山动力学耦合机制的切入点。本文在区域盆—山演化基础上, 通过分析

盆—山耦合过程的沉积响应、地球物理和岩浆岩地球化学特征来尝试对其深部动力学过程进行探讨。

1 三江地区中—新生代盆—山演化

三江地区现今独特的盆山格局形成于中生代, 自西向东依次展布为怒江燕山期造山带、保山古生代褶皱地台、澜沧江印支期造山带、兰坪—思茅中生代叠合盆地(以下简称思茅盆地)、哀牢山印支期造山带和楚雄前陆盆地(图1)。根据造山带演化和盆地转换过程, 三江地区的中—新生代盆—山演化可划分为“盆转山”阶段(T₁—T₂)、“山控盆”阶段(T₃—E₁)以及盆—山共变(E₂—Q)三个阶段(图2)。

1.1 “盆转山”阶段(T₁—T₂)

由洋盆、洋岛以及夹于其间的稳定地块组成的“多岛洋”格局是古特提斯洋的一大特色(钟大赉, 1998; 孙晓猛等, 2004), 古特提斯洋由澜沧江主洋盆和金沙江弧后洋盆组成, 进入三叠纪后, 洋壳消减殆尽, 两侧陆块碰撞。早、中三叠世是三江地区盆山演化的重要时段, 它由古特提斯的多岛洋盆格局转入印支期的造山带与前陆盆地相邻的格局, 即澜沧江

注: 本文为973国家重点基础研究项目(编号2005CB422101)的成果。

收稿日期: 2009-06-18; 改回日期: 2009-07-23; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 杨鑫, 男, 1985年生。博士研究生, 主要从事含油气盆地构造分析研究。Email: xyang85@126.com。通讯作者: 郑建京, 男, 1956年生。研究员, 博导, 从事沉积盆地油气地质研究。

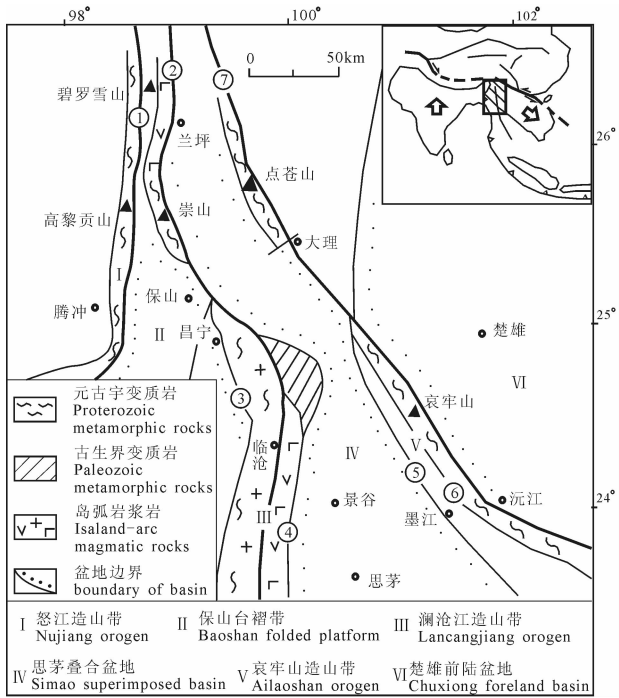


图 1 三江地区新生代盆山格局简图

Fig. 1 Sketch map of Cenozoic basin—range pattern in the Sanjiang (Nujiang River—Lancang River—Jinsha River) area

造山带、思茅弧后前陆盆地、哀牢山造山带以及楚雄周缘前陆盆地自西向东展布。

1.2 “山控盆”阶段 (T_3-E_1)

造山带演化进入后碰撞构造环境中,碰撞挤压逐渐松弛,伸展构造是其显著特征。自晚三叠世开始,在后碰撞时期的拉张应力场中,思茅弧后前陆盆地转入陆内裂陷盆地演化阶段。双峰式火山岩在盆地内部广泛分布,并因此确定出盆地与造山带接触边缘的一系列印支期裂谷,包括:维西—弥沙印支裂谷、墨江—绿春印支裂谷等(李峰等,1999)。早期裂谷盆地是从边缘向中心呈阶梯状断陷,至中—晚侏罗世,沉积相分布及基底变形表明盆地应为一西低东高的箕状断陷。早白垩世初,盆地东部也发生断陷,整体表现为两侧低中间高的双断式盆地,构造以缓慢升降为主,接受稳定的陆相红色碎屑岩沉积。

怒江洋是中特提斯洋在三江地区的延伸,其开合时期为晚侏罗世—早白垩世(姜朝松等,2000),演化时间较短,闭合后主要形成燕山期前陆褶皱冲断带,未形成明显的沉积盆地。就动力学机制这一本质上的盆山耦合关系而言,怒江造山带所代表的中特提斯构造域与澜沧江造山带和哀牢山造山带所反

映的古特提斯构造域是截然不同的,规模和意义也相差甚远,三江地区的盆山格局主要形成于印支期,可将燕山期怒江洋演化形成的盆山体系视为后期叠加的一个次要的盆山体系,从而在动力学机制上区别开来。

1.3 盆—山共变 (E_2-Q)

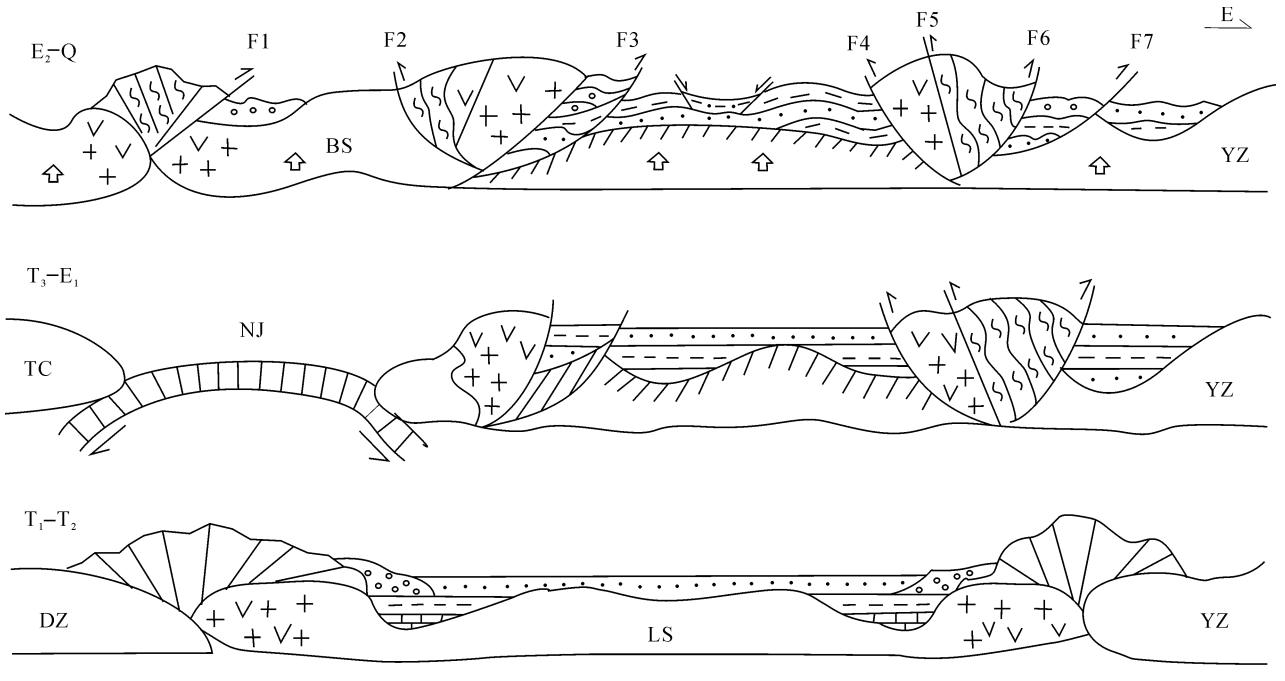
喜马拉雅运动是三江地区重要的一期变革运动,走滑活动是其主要表现方式,它强烈改造了先前的构造面貌和变形样式,要探讨该区中生代盆山动力学耦合机制必须剔除这些后期叠加的构造变形的影响。新生代三江造山带的演化按各期次构造运动的性质划分为褶皱反转期、夷平隆升期和高原裂解期三个阶段(何科昭等,1996)。

始新世—渐新世 (E_2-E_3) 为褶皱反转期,盆山相间的三江地区发生不均一缓慢隆升,这一阶段的构造变形最为强烈,逆冲推覆体向盆地中心挤压,随挤压的加强,在前期形成的宽缓褶皱带上叠加了后期逆冲断层,推覆体前缘磨拉石沉积发育。新近纪 (N) 为夷平隆起期,前一阶段形成的丘陵地貌先是遭受剥蚀,发生准平原化,在早上新世 (N_{21}) 之后强烈隆升,高达 3000m。第四纪 (Q) 是高原裂解期,高原继续隆升达 4000m 以上,走滑活动最为强烈,断块发生旋转,彼此之间差异运动使高原发生裂解。

2 思茅盆地转换过程的沉积响应

在研究川滇盆山系统、中央造山带与周边盆地耦合关系的基础上(姚根顺等,2006;刘少峰等,2005),学者们发现在造山带从主碰撞阶段向后碰撞阶段演化的过程中,与之耦合的盆地也常发生从前陆盆地向伸展盆地的转换。吴根耀等(2004)认为这种盆地转换过程是盆山耦合的“脱耦”阶段,但从动力学机制上,盆地的反转过程是与相邻造山带的演化密切相关的,应该是一种连续的、统一的深部作用过程的结果。因此,从盆地性质角度出发,“盆转山”阶段对应于主碰撞阶段的前陆盆地,而“山控盆”阶段对应于后碰撞阶段的伸展盆地。盆地内的沉积建造、层序结构和构造变形特点正是揭示这种动态“盆山耦合”关系的重要途径。盆地转换的结果是在原型的前陆盆地上叠加裂谷盆地,而盆地内的沉积建造、层序结构和构造变形特点正是对深部动力学过程的响应结果,因此,盆地分析方法是探讨“山控盆”深部动力学机制的重要途径。

与经典的大陆边缘陆棚海的层序地层不同,陆相盆地相对封闭,其层序地层的控制因素主要是构



DZ 滇藏地块 Yunnan-Xizang block TC 腾冲地块 Tengchong block LS 兰坪-思茅地块 Lanping-Simao block BS 保山地块 Baoshan block YZ 扬子地块 Yangtze block
 NJ 怒江洋 Nujiang ocean F1 怒江断裂 Nujiang fault F2 昌宁-孟连断裂 Chang-meng fault F3 酒房断裂 Jiufang fault F4 墨江断裂 Mojiang fault
 F5 哀牢山断裂 Ailaoshan fault F6 红河断裂 Red river fault F7 南沙桥断裂 Nanshaqiao fault 差异升降 variant uplift 磨拉石 molasse

图2 三江地区盆地演化示意图

Fig. 2 Basin-orogen evolutionary schematic diagram of the Sanjiang (Nujiang River—Jinsha River—Lancang River) region

造沉降和气候变化(程日辉等,1996)。“盆转山”阶段中生代沉积盖层不整合于古生代褶皱基底之上,该不整合面可当作一级不整合面,而下思茅中生代叠合盆地两个演化阶段的沉积不整合面明显受构造运动控制,将其看作二级不整合面,可划分出两个构造层(表1),若能排除气候变化因素的影响,各构造层内部次级不整合面或能在一定程度上反映构造运动的具体过程。

2.1 主碰撞构造环境下的前陆盆地阶段(T₁—T₂)

谭富文(2002)对思茅盆地的三叠系的沉积体、沉积相和沉积作用特点作了详细的研究、分析后认为,三叠纪时期的思茅原型盆地应为一弧后前陆盆地,并广泛接受复理石充填,在沉积相划分的基础上,将思茅弧后前陆盆地划分为前陆褶冲带、前陆拗陷带、前缘隆起带和隆后带。

盆地内缺失下三叠统,广泛可见中、上三叠统不整合于古生

代地层之上。两侧的拗陷和中部的隆起带是思茅弧后前陆盆地的主要沉积单元,西侧拗陷带内沉积物以火山岩、火山碎屑岩和碎屑岩为主,平均厚度约3000m,其中低水位体系域为一套高密度粗碎屑浊积岩,反映了盆地基底快速沉降;东侧前渊带内沉积物主要是碎屑岩,厚度一般大于2000m;而中部景谷—普洱一带的隆起区沉积了一套海陆交互的碳酸盐岩和碎屑岩建造,厚度大于1000m(廖宗庭等,2005)。各沉积区构造升降不同,沉积序列各不相同,在思茅一带可识别出自下而上由底砾岩、滨浅海碎屑岩、碳酸盐岩、滨海碎屑岩组成的海进—海退完

表1 思茅盆地构造层划分表

Table 1 Division of structural sequences of the Simao basin

构造层序		构造旋回	构造转换	盆地性质	沉积建造
T ₃ —E ₁	K—E ₁	II	后碰撞构造环境	双断式裂谷盆地	陆相湖盆;红色碎屑岩—蒸发岩建造
	T ₃ —J ₃	II		单断式裂谷盆地	海陆交互,湖盆与海连通;火山碎屑岩、杂色碎屑岩、碳酸盐、有机质、红色碎屑岩建造
T ₁ —T ₂		I	主碰撞构造环境	弧后前陆盆地	火山碎屑岩、碳酸盐建造

整序列。

沉积相在空间上随时间的变化,说明主碰撞环境下受两侧活动造山带持续的冲断负载,盆地沉降中心不断向中间的前隆带方向迁移。从该时期古流向、沉积物岩性、颗粒大小及其分布来看,盆地充填具有双物源性,两侧造山带遭受剥蚀提供物源(朱创业等,1997)。

2.2 后碰撞构造环境下的裂谷盆地阶段(T_3-E_1)

进入晚三叠世,在深部均衡调整下进入后碰撞构造环境,导致这种碰撞松弛期的深部作用正是“山控盆”(或盆地转换)的动力学机制。思茅盆地东西两侧晚三叠世裂谷沿造山带平行展布,裂谷内双峰式火山岩发育,盆地已结束前陆盆地的演化而进入裂谷盆地阶段。以晚三叠世盆地性质转换对应的不整合面和始新世早期盆地反转、褶皱隆升对应的区域不整合面为限,将其整体划为一个构造层序,其内部又可根据白垩系下部明显的沉积不整合面为界,划分出两套次级层序(表1)。

晚三叠世以海相碳酸盐岩沉积为主,在整个盆地内分布广泛。盆地基底延续了前陆盆地基底的形态,在西部前渊带发生断陷,中部及东部相对隆起,盆地整体为一单断式箕状盆地。西侧拗陷内火山碎屑岩发育,在盆地中部思茅一带晚三叠世到早侏罗世沉积建造自下而上为滨海碎屑岩、碳酸盐岩、泥灰岩、泥岩组成的海进→海退序列,反映了裂谷盆地早期由海相向陆相湖盆的变迁(廖宗庭等,2003)。

盆地内西侧到中部思茅附近的侏罗系从下到上由张科寨组(J_{1z})、和平乡组(J_{2h})和坝注路组(J_{3b})组成,对应于东部的漾江组(J_{1y})、花开左组(J_{2h})和坝注路组(J_{3b})。东西两侧由于物源区、沉积速率和沉积可容空间的不同,其充填物岩性和沉积厚度有较大区别,但是在侏罗纪时整个盆地连通性较好,表现为统一的陆相湖盆,其沉积旋回保持一致(朱创业等,1997)。朱利东(2004)应用陆相层序地层学中湖泊扩张体系域(EST)和湖泊萎缩体系域(RST)的概念对思茅盆地侏罗系的沉积旋回进行分析,认为早侏罗世和晚侏罗世都存在一组湖泊扩张到湖泊萎缩的变迁,而中侏罗世为海泛湖沉积,自西向东由海相向海陆交互过渡,沉积厚度逐渐变小,这种现象在中国南方中生代沉积建造中是比较独特的,其原因可能是陆相湖盆的快速沉降。

进入白垩纪以后,思茅盆地转入双断式盆地,白垩系自下而上由下白垩统景星组(K_1j)、南新组(K_1n)、虎头寺组(K_1h)和上白垩统曼宽河组(K_2m)组

成,其中景星组内部,岩性从扇三角洲相的灰色砂岩、泥岩过渡到湖岸相泥岩,反映了水体变浅的过程;而南新组到虎头寺组,岩性从三角洲相粗碎屑岩过渡到河流相碎屑岩和风成砂岩,反映了盆地萎缩的过程(廖宗庭等,2005)。曼宽河组仅在盆地内部零星分布,反映该时期短暂抬升的历史,发育于盆地中部景谷附近的古近系底部的勐野井组不整合于白垩系之上,主要为一套残留湖泊相红色碎屑岩沉积。总体而言白垩纪思茅盆地构造以缓慢沉降为主,沉积稳定。

因此,思茅叠合盆地是在印支期双弧后前陆盆地的基础上,叠加了燕山期的裂谷盆地,在盆地转换的过程中,发生了多次水体加深和变浅,而与东侧的楚雄前陆盆地比较,沉积旋回完全不一致(朱同兴等,1999),再加上盆地内红色碎屑岩,在中生代连续分布,故气候变化不是主要影响因素,对于陆相盆地而言,构造沉降应该是其沉积旋回形成的主要原因。

3 盆山动力学耦合及其深部机制探讨

盆山动力学耦合可以理解为沉积盆地与相邻造山带在统一的深部动力学控制下,随着造山带演化过程中主碰撞构造环境向后碰撞构造环境的改变,与之耦合的盆地发生了由挤压性前陆盆地向张引性裂谷盆地的转换过程。这种动态的盆山耦合关系在时间上是连续的,控制盆地转换的深部动力学机制主要是壳幔作用过程,而壳幔作用过程是与造山带活动密切相关的。造山带活动的主碰撞构造环境是以碰撞挤压、陆内俯冲和山根加厚为特征,岩浆活动产物为弧型火山岩和碰撞型花岗岩;后碰撞环境是以大规模伸展构造为显著特征,岩浆作用多以钙碱性—钾玄武岩系列为主,常见“双峰式”火山岩(Liegeois,1998)。

拆沉作用是用来解释大尺度岩石圈伸展构造的深部壳幔动力学机制(高山等,1997),其实质是壳幔物质之间的相互作用与转换,不同学者曾提出诸多壳幔动力学模式,并应用于国内大规模伸展构造的成因研究中,如俯冲板片断离、折返模式与大别—苏鲁超高压变质岩(Davis et al.,1995;许志琴等,2003),岩浆底侵作用、下地壳拆沉作用与华北克拉通中—新生代岩石圈减薄等(Bird,1978;高山等,1997;翟明国等,2005)。对三江地区中生代后碰撞环境的拆沉作用模式进行探讨,需要将该区盆地沉积旋回与岩石圈结构特征以及中生代岩浆岩岩石地球化学特征相结合。

3.1 三江地区的岩石圈结构特征

莫霍面的反射特征和下地壳的速度结构是深部壳幔作用的直接产物,岩石圈结构剖面能直观地反映壳幔作用的显著特点。张中杰等(2005)以地震波旅行时层析成像方法解释了遮放—宾川宽角反射/折射地震剖面,获得了三江地区的地壳纵波结构,并结合地震散射成像方法获得的地壳反射结构,从而重建了该区的岩石圈结构(图3)。

该地震剖面走向东西,横跨三江断裂带及思茅盆地,垂向上根据不连续界面和速度分布特征可分为5层,自上而下对应为沉积盖层、上地壳、中地壳、下地壳和上地幔。沉积盖层在思茅盆地内厚度最大,达到15 km, P波速度变化范围为5.5~5.8 km/s;中—下地壳地震波速度在横向上变化明显,三江断裂带下方显示地壳加厚特征;上地幔地震波速在思茅盆地及其两侧造山带处最大,达到8.0~8.1 km/s,莫霍面在此处也最深,达到43 km。与全球造山带下地壳的平均厚度14 km和平均地震P波速度为6.5~6.9 km/s比较,该区下地壳厚度超出8 km, P波速度高出0.2~0.4 km/s,这些岩石圈结构特征反映了最近的强烈壳幔调整事件,是与古特提斯洋“盆转山”和“山控盆”阶段的拆沉作用有关的。

3.2 三江地区中生代岩浆岩地球化学特征

思茅盆地内中生代岩浆发育,沿造山带呈带状展布,岩浆活动在中三叠世—早侏罗世最为强烈,侵入岩以花岗岩为主,也有辉长岩、碱性岩的小岩体;

火山岩以流纹岩、安山岩、玄武岩为主,与盆地边缘的碎屑岩组成多个沉积—喷发旋回。澜沧江造山带是特提斯构造域中重要的构造—岩浆活动带,自无量山—一郎弧形转换带往南至景洪一带的南澜沧江段岩浆岩组成复杂,包含了丰富的中生代火山岩地层剖面。中三叠世—早侏罗世火山岩地层自下而上由中三叠世的忙怀组、晚三叠世的小定西组 and 芒江河组、早侏罗世的就康组组成(表2),基性火山岩和酸性火山岩互层,暗示了多个火山喷发旋回(张虎, 2001)。

3.2.1 主碰撞构造环境下的岩浆岩特征

酸性花岗岩是早—中三叠世主要的侵入岩类型,临沧花岗岩基及其北延部分白芒雪山、碧罗雪山一带组成三江地区最大的花岗岩带,是“盆转山”阶段的重要标志。临沧花岗岩体由花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩和石英闪长岩组成,其中黑云母二长花岗岩最为常见,主要矿物为钾长石、斜长石、石英和黑云母,副矿物为锆石、磷灰石、榍石和磁铁矿等。临沧花岗岩多阶段侵入成因导致不同学者对其测试年龄值跨度较大,为279~180 Ma(陈吉琛, 1987; 王立全等, 2002),其中南澜沧江段凤庆县和景洪县的黑云母二长花岗岩锆石年龄为230 Ma左右,岩石学特征显示其壳源性质。

忙怀组下段中基性火山岩 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值为0.07~0.86,属低钾玄武质安山岩和安山岩,具Eu负异常,富集HREE,初始 $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 值(0.706116~0.707046)较高, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-4.02~

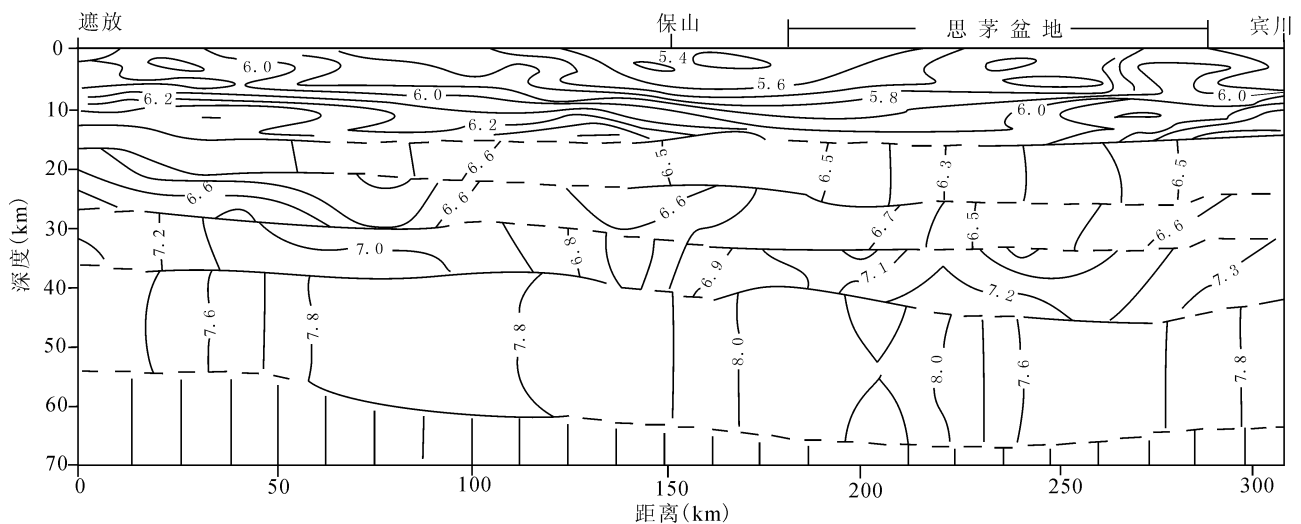


图3 三江地区地壳速度结构剖面图(改自张中杰等, 2003; P波速度单位为 km/s)

Fig. 3 Profile showing the crustal velocity structure of the Sanjiang (Nujiang River—Jinsha River—Lancang River) region (after Zhang Zhongjie et al., 2003; the values of P-wave are in km/s)

表 2 三江地区 T₂—J₁ 火山岩地层表Table 2 List of T₂—J₁ volcanic strata of the Sanjiang (Nujiang River—Jinsha River—Lancang River) region

地层		火山岩岩性特征	锆石 U-Pb 年龄	构造环境
J ₁	就康组	分为三段,下部为安山岩和玄武岩;中部以玄武岩为主;上部向上过渡为中酸性的安山岩和流纹岩		后碰撞
T ₃	芒汇河组	基性火山岩为主,分为三段;下段由安山岩组成;中段为玄武岩;上段由玄武岩向流纹岩和石英斑岩过渡	216.0±20Ma	
	小定西组	中部组成为基性火山岩,底部从流纹岩向玄武岩过渡,顶部主要由安山岩组成向玄武岩过渡	213.5±7.7Ma	
T ₂	上段	块状流纹岩为主,另有英安岩;底部有少量玄武岩	231.0±5.0Ma	主碰撞
	下段	中基性火山岩,块状安山岩为主夹有玄武岩薄层	241.0±4.9Ma	

注:锆石 U-Pb 年龄数据引自彭头平(2006)博士论文。

—2.69)较低,Pb 同位素比值也较高,亏损 Nb—Ta 和 Zr—Hf 等 HFSE,暗示景洪地区岩浆演化过程中可能受到地壳物质的混染,也可能与俯冲沉积物流体交代、改造作用有关;通过 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值、Pb 同位素比值与思茅地块的岩石圈地幔特征进行比较,进一步认为其源区是俯冲沉积物改造岩石圈地幔的结果(Peng,2006)。忙怀组上段流纹岩的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值为 0.53~1.00,属低钾钙碱性系列,具有 A 型花岗岩特点,微量元素特征与下段中基性火山岩相似,其岩浆来源可能与底侵基性岩浆在上升过程中与地壳发生反应有关(陈跃昆等,2004)。

3.2.2 后碰撞构造环境下的岩浆岩特征

彭头平(2006)将小定西组和芒汇河组火山岩分为两组,第一组为高铝低镁型,为粗面玄武岩—玄武质安山岩—安山岩组合,富集轻稀土元素,亏损 Nb—Ta、P 和 Zr—Hf 等高场强元素,Sr 负异常,表现为 II 型富集地幔(EM II)特征;第二组为高铝高镁型,为亚碱性系列玄武岩,微量元素特征与前一组火山岩相似。高镁岩浆的形成可能是上涌软流圈与富集岩石圈地幔相互作用的结果,俯冲沉积物改造的岩石圈地幔可能是低镁高铝岩石的岩浆源区,而高铝高镁岩石可能是该岩浆源区与软流圈相互作用的产物。

3.3 深部壳幔作用过程探讨

三江地区岩石圈速度结构剖面揭示出思茅盆地及其两侧造山带对应的下地壳 P 波速度明显增高,说明下地壳中含有大量壳幔混合物,从而指示了拆沉作用和底侵作用的存在。思茅盆地两侧中生代岩浆岩的岩石地球化学特征和喷发沉积旋回,一方面显示了造山带演化的阶段性,另一方面为深部壳幔

作用模式提供约束。而思茅盆地的基底变形过程、沉积相的迁移以及层序的旋回性是这种深部动力学机制的运动过程在时间和空间上的响应。结合盆山演化史和以上这些地质特征,可以初步推测出三江地区中生代盆山动力学耦合的深部壳幔动力学过程(图 4)。

早、中三叠世时,古特提斯洋闭合后,三江地区进入“盆转山”阶段,澜沧

江造山带和哀牢山造山带演化进入主碰撞构造环境的峰期,在强大的碰撞挤压下,思茅弧后前陆盆地基底发生挠曲变形,沉积中心不断迁移,接受了一套海陆交互相为主的碳酸盐岩、碎屑岩沉积。在这一阶段,A 型俯冲作用控制了深部壳幔过程,板片脱水和深海沉积物熔融导致的流体交代作用是岩浆形成演化的主要机制。

早、中三叠世时,三江地区发生“盆转山”,造山带演化进入主碰撞阶段,A 型俯冲作用控制了深部壳幔过程,板片脱水和深海沉积物熔融导致的流体交代作用是岩浆形成演化的主要机制。一方面,洋壳板片脱水部分熔融形成基性岩浆;另一方面,富铝质的深海沉积物和含 H₂O 的挥发性流体进入地幔楔中熔融出基性岩浆,两种基性岩浆大部分底侵于下地壳,在快速上升过程中混染地壳物质,形成中基性火山岩和酸性火山岩的互层。该阶段盆地内沉降中心的迁移主要受控于造山带的逆冲载荷,浅层耦合关系占主导位置。

晚三叠世以后,三江地区转入“山控盆”阶段,在后碰撞伸展构造环境中,思茅盆地发生前陆地向裂谷盆地的转换。加厚地壳的下部相变为密度较大的榴辉岩,进而拆沉进入下伏软流圈中,软流圈上涌,岩浆底劈作用导致地壳受热有限隆起,陆相湖盆水体随之变浅;上涌岩浆冷却之后,地表拗陷,陆相湖盆水体加深;拆沉作用对岩石圈底部多次“蚕食”,地表以陆相湖盆的沉积旋回来对其响应。另外,俯冲板片前缘断离,在浮力作用下熔融、折返,在地表对应着一期强烈的水体加深和变浅的旋回,如中侏罗世的海泛湖沉积可能是其浅层响应。

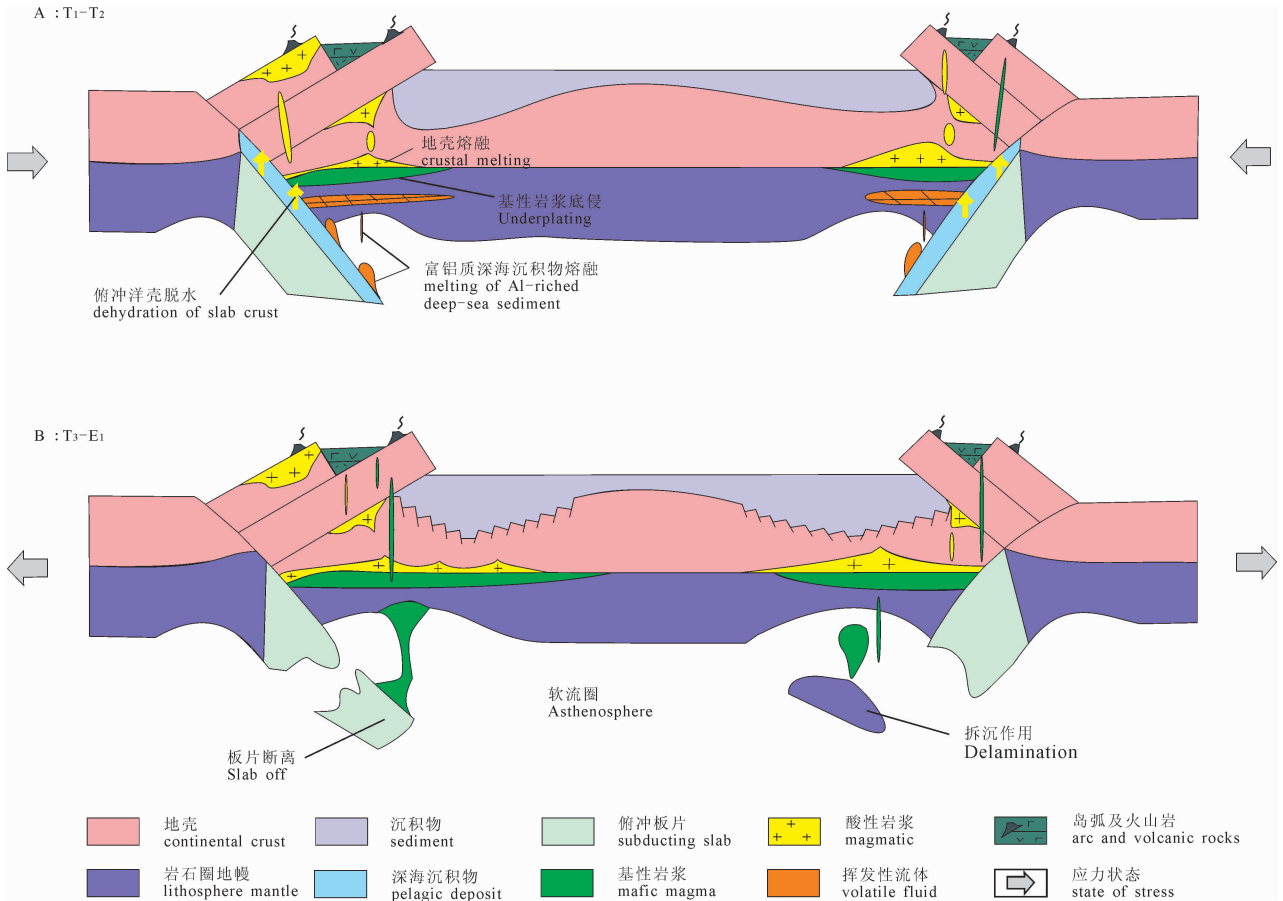


图 4 思茅盆地性质转换的深部壳幔作用模式

Fig. 4 Deep crust—mantle effects model of basin transformation of the Simao basin

4 结论与认识

滇西三江地区“三山邻三盆”的盆山格局形成于印支期,并在中—新生代特提斯构造域背景下经历了“盆转山”(T₁—T₂)、“山控盆”(T₃—E₁)和盆—山共变(E₂—Q)三个演化阶段。

其中“盆转山”阶段对应于造山带演化的主碰撞阶段,思茅弧后前陆盆地与两侧印支期造山带相耦合,盆地基底变形和沉积建造主要受浅层逆冲载荷控制,碰撞弧型花岗岩和火山岩资料所揭示的深部过程是俯冲板片脱水作用及富铝质深海沉积物熔融流体交代、改造地幔楔形成碱性岩浆,岩浆底侵于下地壳,并在上升的过程中混染地壳物质。

“山控盆”阶段对应于造山带演化的后碰撞阶段,构造体制负反转,思茅盆地进入裂谷盆地演化阶段。这种盆地转换是盆—山耦合中连续的过程,与造山带演化密切相关。岩石圈速度结构剖面显示思茅盆地及其两侧造山带的下地壳和岩石圈地幔有加

厚、速度变大的特征,可能与拆沉作用有关。思茅陆相湖盆的层序结构和沉积旋回暗示拆沉作用可能是多阶段、小规模、连续相伴发生的,类似于“地幔烛”模式(支霞臣等,2001)。

动力学的耦合是盆—山耦合本质上的耦合关系,是大陆动力学又一重要研究方向,为中国多旋回叠合盆地的运动学过程提供研究思路。对盆山动力学耦合的研究需结合多种学科、多种方法,尤其是壳幔作用的一些新认识,鉴于作者知识和研究工作量有限,举证不足,但以此抛砖引玉,希望更多学者关注这一方向。

参 考 文 献 / References

陈跃昆,廖宗庭,魏志红,等. 2004. 兰坪—思茅中生代盆地的特征及构造演化. 石油实验地质, 26(3): 219~228.

陈吉琛. 1987. 滇西花岗岩时代划分及同位素年龄值选用讨论. 云南地质, 6: 101~113.

程日辉,王东坡. 1996. 陆相盆地层序地层进展. 岩相古地理, 16(4): 56~61.

高山,金振民. 1997. 拆沉作用及其壳幔演化动力学意义. 地质科技

- 情报,16(1):1~7.
- 何科昭,何浩生,蔡红飘. 1996. 滇西造山带的形成与演化. 地质论评,42(2):98~105.
- 姜朝松,周瑞琦,周真恒. 2000. 滇西地区及邻区构造单元划分及其特征. 地震研究, 23(1):21~29.
- 李继亮,肖文交,闫臻. 2003. 盆山耦合与沉积作用. 沉积学报,21(1):52~59.
- 李峰,段嘉瑞. 1999. 滇西地区板块—地体构造. 昆明理工大学学报,24(1):29~35.
- 李勇,王成善,曾允孚. 2000. 造山作用与沉积响应. 矿物岩石,20(2):49~55.
- 廖宗庭,陈跃昆,魏志红. 2003. 滇西晚古生代以来的构造演化. 同济大学学报,31(9):1029~1033.
- 廖宗庭,陈跃昆. 2005. 兰坪—思茅盆地原型的性质及演化. 同济大学学报,33(11):1527~1531.
- 刘池洋,赵红格,王锋,陈洪. 2005. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性. 地质学报,79(6):738~745.
- 刘和甫,梁慧社,蔡立国,沈飞. 1994. 川西龙门山冲断系构造样式与前陆盆地演化. 地质学报,68(2):101~118.
- 刘和甫,汪泽成,熊保贤,李永林,刘立群,张建珍. 2000. 中国中西部中、新生代前陆盆地与挤压造山带耦合分析. 地学前缘,7(3):55~72.
- 刘少峰,张国伟. 2005. 盆山关系研究的基本思路、内容和方法. 地学前缘,12(3):101~110.
- 彭头平. 2006. 澜沧江南带三叠纪碰撞后岩浆作用、岩石成因及其构造意义. 中国科学院研究生院博士学位论文, 30~92.
- 孙晓猛,简平. 2004. 滇川西部金沙江古特提斯洋的威尔逊旋回. 地质论评,50(4):343~349.
- 谭富文. 2002. 云南思茅三叠纪弧后前陆盆地的沉积特征. 沉积学报,20(4):560~566.
- 王立全,李定谋,管士平. 2002. 云南德钦鲁春—红坡牛场上二叠裂谷盆地“双峰式”火山岩的 Rb-Sr 年龄值. 沉积与特提斯地质, 22(1):65~71.
- 吴根耀,马力,钟大赉,吴浩若,季建清,邝国敦,徐克定. 2001. 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. 石油实验地质,23(1):8~18.
- 吴根耀,马力. 2004. “盆”“山”耦合和脱耦:进展,现状和努力方向. 大地构造与成矿学,28(1):81~97.
- 姚根顺,李大成,卢文忠,徐政语. 2006. 四川叠合盆地盆山耦合特征分析. 大地构造与成矿学,30(4):435~444.
- 翟明国,樊祺诚,张宏福,隋建立. 2005. 华北东部岩石圈减薄中的下地壳过程:岩浆底侵、置换与拆沉作用. 岩石学报, 21(6):1509~1523.
- 张虎. 云南南澜沧江构造岩浆带早侏罗世后碰撞火山岩研究. 昆明理工大学工程硕士学位论文,2001,30~38
- 张中杰,白志明,王椿镛,滕吉文,吕庆田,李继亮,刘一峰,刘振宽. 2003. 苏鲁高压—超高压变质带的折返构造及折返机制. 地质学报,77(4):433~447.
- 支霞臣,彭子成,陈道公,余春江,孙卫东. 2001. 苏皖地区大陆岩石圈地幔的长时性——地幔橄榄岩捕虏体的锶同位素模式年龄. 中国科学(D辑),31(6):464~470.
- 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带. 北京:科学出版社,1998:94~212.
- 朱利东,刘登忠,王国芝. 2004. 兰坪盆地侏罗系陆相层序地层研究. 地层学杂志,25(1):40~43.
- 朱创业,夏文杰,伊海生,蔚远江. 1997. 兰坪—思茅中生代盆地性质及构造. 成都理工学院院报,24(4):23~29.
- Bird P. 1978. Initiation of intra continental subduction in the Himalaya. Journal of Geophysical Research,83:4975~4987
- Chanell J E T and Mareschal J C. 1989. Delamination and asymmetric lithosphere thickening in the development of the Tyrrhenian Rift. In: Coward M P, Dietrich D and Park R G. eds. Alpine Tectonics. Oxford: Blackwell, 285~302.
- Davis J H, Bankenburg V F. Slab break off: a model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens. Earth and planetary science letters,1995, 85~102.
- Dewey J F, Kelman M L, Tureo E, Hutton D H W and Knott S D. 1989. Kinematics of the western Mediterranean. In: Coward M P, Dietrich D and Park R G. eds. Alpine Tectonics. Oxford: Blackwell, 265~283.
- Liegeois L P. 1998. Preface——some words on the post-collisional magmatism. Lithos,45:15~17.
- Peng T P, Xi X W, Wang Y J, et al. 2006. SHRIMP zircon U-Pb geochronology of early Mesozoic felsic igneous rocks from the southern Lancangjiang and its tectonic implications. Science in China(series D), 49(6):1032~1042.

Initial Exploration to Mesozoic Basin—Orogen Dynamical Coupling of “Sanjiang” (Nujiang River—Jinsha River—Lancang River) Region, Western Yunnan

YANG Xin^{1,2)}, LIU Yanhong³⁾, SUN Guoqiang¹⁾, LIU Xingwang^{1,2)},
WANG Baozhong^{1,2)}, ZHENG Jianjing¹⁾

1) Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000;

2) Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049;

3) Research Development of Huabei Oilfield Coal-bed Methane Branch Company, PetroChina, Jincheng, Shanxi, 048000

Abstract: The coupling relations on dynamic mechanism between basin and adjacent orogenic belt are a research front of continental dynamics. The current typical basin—orogen pattern of the Sanjiang region (means three rivers, i. e. : Nujiang River—Jinsha River—Lancang River) is an ideal region to carry out

this study. The conversion from foreland basin to rift basin of the Simao basin is involved with orogenic evolution. Therefore, it could be a breakthrough point of this research. The research methods include analysis to basin—orogen coupling process and its sedimentary responses, geophysics and geochemical characteristics of igneous rocks. Studies have shown that its Meso—Cenozoic basin—orogen evolutionary history include three phases: basin orogen transition($T_1—T_2$), orogen control basin ($T_3—E_1$) and basin—range covariation ($T_3—E_1$); The Simao lacustrine basin responds deep dynamical process by facies migration, sequences formation, deformation of basement and sedimentary cycle; the velocities structure section of lithosphere reveals that lower crust and lithosphere mantle under the Simao basin have a higher P wave velocity, and the Moho interface seems deeper; in addition, combining with characteristics of magmatic movement sequence and geochemistry, writers consider that basic magma underplating, lithosphere delamination and subduction slab-off might be the deep dynamical models of the basin conversion.

Key words: basin—orogen dynamics; crust—mantle effects; basin—orogen coupling; sedimentary responses; Tethys; basin conversion

中国地质学会 2009 年度十大地质找矿成果

(排名不分先后)

山东省莱州市焦家金矿深部再现特大型金矿：山东省莱州市焦家金矿床是我国著名的金矿床之一，其深部(1000 m)还有没有矿体，一直是地质界关注的焦点。本次详查施工钻孔 69 个，见矿钻孔 62 个，见矿率 90%。超过 1000 m 深的钻孔有 33 个，创造了胶东地区金矿找矿一个矿区一次性施工深孔数量之最。2009 年 3 月 6 日，经国土资源部储量评审中心评审，共探求金矿资源储量(122b+332+333)矿石量 2920 亿吨，金属量 105.2 t，平均金品位 3.60g/t，矿床规模为超大型。本次深部找矿突破，是贯彻国务院东部“攻深找盲”勘查战略的又一次成功实践，并取得了巨大的经济社会效益，对今后指导同类金矿床深部找矿工作具有重要示范作用。本项目由山东省第六地质矿产勘查院完成。

河北省滦南县马城发现特大型铁矿：马城铁矿位于河北省滦南县、滦县、昌黎县交界处，属京、津、唐(秦)环渤海经济区内。矿区位处阴山—天山纬向构造带东段—燕山南亚带山海关台拱西南边缘。区域矿产主要为“鞍山式”沉积变质铁矿及非金属矿。项目自 2008 年 3 月初开始实施，2009 年 8 月 12 日经国土资源部和河北省国土资源厅联合评审，保有铁矿资源量(332+333)10.45 亿吨，全铁平均品位 34.98%。马城铁矿是近年来在冀东地区铁矿找矿勘查工作中的重大突破，也是近年来达到详查程度且资源储量超十亿吨的超大型铁矿床，对缓解当前我国铁矿石短缺局面有重要意义。本项目由中国冶金地质总局完成。

南海珠江口盆地深水天然气勘探获得重大发现：南海珠江口盆地白云深水区早中新世深水扇砂体和晚渐新世陆架浅水三角洲砂体含有一系列气藏和含气目标层，烃源岩从古近系扩展到新近系，陆架坡折带也将成为重要的成藏区带，构成一深水大天然气区。近年来的勘探，相继在水深 1200 m 以下地区获得日产天然气超过 2447 万立方米、626 万立方米高产油气井多口，提交储量超过 500 亿方。未来几

年，将在水深超过 2400m 施工探井 5~8 个，白云深水区展示出万亿立方米大气区之勘探前景。它是我国深水油气勘探的重大突破，对未来我国海域深水油气勘探具有重要的指导作用。该项目由中海石油(中国)有限公司勘探部等完成。

四川盆地新场气田须家河组二段探明千亿方大型整装气藏：四川盆地中部川中低缓构造区，其新场气田经过近 20 年的勘探，提出了深层须家河组“早聚、中封、晚活化”的油气成藏地质理论。近年来，针对上三叠统须家河组二段不断调整勘探思路，突破了须二段气藏的气水边界，逐步证实了须二段气藏为一构造—岩性气藏，大大拓展了气藏的勘探面积；以 3D3C 地震勘探技术为基础，对储层预测、储层保护、储层改造等技术开展攻关，形成了适合川西深层须家河组高产富集带预测、钻井提速与储层保护、成像测井与储层改造工艺等配套的勘探技术方法系列，钻井成功率达 85% 以上。2009 年底新场须二段气藏整体提交探明储量 1177.20 亿立方米，实现了千亿方大型气藏的勘探突破。该项目由中国石化股份有限公司西南油气分公司完成。

鄂尔多斯盆地华庆低渗透大型整装油田勘探新突破：华庆地区位于鄂尔多斯盆地中生代湖盆中部。该区石油勘探早期以上三叠统延长组长 3 段、长 4+5 段及侏罗系油层为主，发现了华池、南梁等一批小型油田。近年来，通过深化湖盆中部沉积相和成藏地质条件研究，提出了“长 6~8 期湖盆中部发育三角洲前缘水下分流河道、碎屑流和浊流沉积等多成因的砂岩储集体”的新认识，勘探获得重大突破。2009 年新增探明石油地质储量 2.66 亿吨，价值 62 亿元。通过进一步勘探评价，预计可落实 6~8 亿吨的储量规模，华庆油田成为鄂尔多斯盆地继安塞—靖安、西峰油田发现之后的又一整装大油田。本项目由中国石油长庆油田公司完成。

(下转第 214 页)