

中国西部盆山系统的耦合关系及其动力学模式

——以龙门山造山带—川西前陆盆地系统为例

刘树根 罗志立 赵锡奎 徐国盛 王国芝 张成江

成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 610059

内容提要 造山带与沉积盆地是形成于统一的地球动力学系统之中的一对孪生体,由此构造了盆山系统。盆山系统是陆块相互作用、岩石圈层圈相互耦合的复杂系统,主要表现为物质的循环系统和能量的交换系统。盆山系统形成演化过程中造山带和沉积盆地之间一切相互作用的总和即为盆山间的耦合关系。盆山系统是中国西部中新世构造的基本格局,并有单侧盆地型盆山系统和双侧盆地型盆山系统两种基本类型。小陆块拼合、多旋回构造运动和陆内构造活动强烈等是中国西部盆山系统形成演化的地质背景。中国西部盆山系统盆山间耦合关系在垂向上表现为造山带隆升与沉积盆地沉降呈镜像关系,在横向上表现为物质流和能量流循环均有两个传递方向,并且盆山系统岩石圈各层圈间有着强烈的相互作用。中国西部盆山系统盆山间耦合关系的动力学模式为C(陆内)-型俯冲,对于单侧盆地型盆山系统其耦合关系的动力学模式为L(龙门山)-型俯冲,而双侧盆地型盆山系统其耦合关系的动力学模式为T(天山)-型俯冲。

关键词 系统 耦合关系 动力学模式 C(陆内)-型俯冲 中国西部

1 盆山系统及其耦合关系的内涵

大陆构造的基本构造单元是沉积盆地和造山带。盆地或发育于造山带之中,或发育于其之间,或发育于其边缘,它的形成与造山带的演化往往存在着密切的关系。造山带是地壳构造活动和动力转换的记录,代表着陆块间的相互运动、消失的大洋、消失的陆块和大陆边缘盆地。因此,造山带及其相邻的沉积盆地有机地组成了一个相互联系不可分割的系统——盆山系统。

本文所称的盆山系统具有下述几方面的内涵:①大陆构造的基本单元是沉积盆地和造山带;②造山带与沉积盆地是形成于统一的地球动力学系统之中的一对孪生体,它们在空间上相互依存、物质上相互补偿、演化上相互转化、动力上相互转换(具有盆转山、山控盆、盆定山的过程);③盆山系统主要表现为物质的循环系统和能量的交换系统(其媒介主要为流体);④盆山系统是陆块相互作用、岩石圈层圈相互耦合的复杂系统。

造山带与沉积盆地构成盆山系统的主要特征集

中体现在盆(沉积盆地)山(造山带)之间的耦合关系上。因此,我们理解的造山带—沉积盆地耦合关系是指造山带—沉积盆地系统形成演化过程中造山带和沉积盆地之间一切相互作用的总和,具体包含下述几方面的内涵:

(1) 盆山在垂向上的耦合关系,即造山带的隆升与沉积盆地沉降(隆升)间的耦合关系;

(2) 盆山在横向上的耦合关系,包括:①盆山间物质循环的耦合关系,②盆山间能量交换的耦合关系,③盆山互换的耦合关系(盆山同步演化史);

(3) 盆山耦合关系的内在根源和动力主要在地球深部;

(4) 盆山间的耦合关系是揭示大陆动力学机制和过程的关键之一。

盆山系统耦合关系的主要表现为(刘和甫, 1999):①造山带楔进作用(wedging)和盆地挠曲;②造山带滑脱作用(detachment)或拆层作用(delamination)与盆地变形;③造山带蚀顶作用(deroofting)和盆地充填。

注:本文为国土资源部“九五”重点课题(编号 950117)和国家“973”项目(编号 G1999043309)的资助成果。

收稿日期:2002-01-07;改回日期:2002-11-04;责任编辑:任希飞。

作者简介:刘树根,男,1964年生。博士,教授,博士生导师,主要从事构造地质、石油地质和流体地质作用研究。通讯地址:610059,四川省成都市成华区东三路1号,成都理工大学石油国家重点实验室;Email: lsg@cdut.edu.cn。

2 中国西部盆山系统形成的地质背景和基本类型

我国是多造山带和多沉积盆地的国家,所处的亚洲大陆又是现今地球上最后形成的一个大陆。其盆山系统的形成背景有其特殊性,主要表现为:小陆块拼合、多旋回构造运动和陆内构造活动强烈等。

2.1 小陆块拼合

面积为 960 万 km^2 的中国大陆,看起来是一个既有高山又有平原的完整大陆,但若从板块构造学研究,它是由许多中—小型块体和缝合带拼结形成的。组成中国大陆古板块的规模,远远小于北美板块和欧洲板块。以最大的中朝板块与它们比较,其面积只有北美板块的 6%、欧洲板块的 14%;中国各个古板块面积总和,也只有北美板块的 33%。中国大陆在地史演化过程中,以中朝、扬子、塔里木三个古板块(指具有前震旦纪变质岩基底的块体)为核心,集合 20 多个微板块或地块(如准噶尔、大别山、羌塘等),经过漫长的地史岁月,逐渐拼合形成。由于中国古板块规模小,决定了中国大陆构造演化的活动性大。

2.2 多旋回运动

中国大陆由中朝、扬子、塔里木三个古板块为核心组成,演变历史异常复杂,不仅在板块形变上遭受多期改造和变形叠加,而且在沉积建造上形成多种沉积相的岩石,并经受了后期改造作用。中国三大板块,从寒武纪开始它们就是彼此分离的块体,漂浮在原特提斯洋上,经过晚古生代由南向北的移动,塔里木和中朝古板块先后在北半球高纬度区,与西伯利亚板块拼接,而扬子古板块直到二叠纪还在赤道附近游弋。自晚古生代以来三次大规模的板块构造运动事件,对中国西部盆山系统的形成和后期改造起了重要作用(罗志立, 1999): ①华力西期塔里木—中朝古板块与哈萨克斯坦—西伯利亚板块的俯冲—碰撞事件; ②中生代以来库拉—太平洋板块向亚洲大陆俯冲的事件; ③喜马拉雅期印度板块对欧亚板块的碰撞事件。

2.3 陆内构造活动强烈

中国大陆主体在印支运动中虽已拼合而成,但陆内构造变形剧烈、广泛而持久。喜马拉雅运动使中国西部呈“翻天覆地”之势。冈瓦纳大陆裂块与欧亚大陆正面碰撞持续俯冲挤压,使得西藏有世界最高的山峰和高原、最厚的地壳和最大的重力异常。

因此,小陆块拼合、多旋回运动和陆内构造活动

强烈等控制了中国西部盆山系统的形成和演化。基于我国区域地质结构的上述特色,任纪舜等(1999)提出了微陆块间的微弱碰撞为软碰撞的概念,微陆块的软碰撞和多旋回缝合作用以及由此而形成的多旋回复合造山带、多旋回叠合盆地和多旋回成矿作用,是中国以至亚洲大地构造一个非常重要的特色,也是中国西部盆山系统形成和演化的最为特色的地质背景。

2.4 中国西部盆山系统的基本类型

中国西部造山带和沉积盆地在地貌分布上有两种基本类型: ①单侧盆地型盆山系统,指沉积盆地仅位于造山带一侧,如龙门山造山带与川西前陆盆地,贺兰山造山带与鄂尔多斯盆地; ②双侧盆地型盆山系统,指沉积盆地位于造山带两侧,如天山造山带与塔里木盆地、准噶尔盆地,祁连山造山带与贺西盆地群和柴达木盆地等。

本文以龙门山造山带—川西前陆盆地系统为例,重点研究单侧盆地型盆山系统的耦合关系及其动力学模式。

3 龙门山造山带—川西前陆盆地系统的耦合关系

龙门山造山带—川西前陆盆地系统从西向东可以分为(刘树根, 1993): ①松潘—甘孜褶皱带; ②茂汶—汶川—陇东韧性剪切带; ③龙门山逆冲推覆构造带; ④龙门山前陆滑脱拆离带; ⑤川西前陆盆地(图 1)。

3.1 龙门山造山带的隆升和川西前陆盆地沉降(隆升)的耦合关系

通过龙门山造山带和川西前陆盆地岩石样品的裂变径迹和镜质体反射率的测定和计算机模拟得出(Liu Shugen et al., 1996): ①松潘—甘孜褶皱带 10 Ma 以来至少隆升了 3~4 km, 隆升速率最低为 0.3~0.4 mm/a; ②龙门山逆冲推覆构造带 10 Ma 以来至少隆升了 5~6 km, 隆升速率最低为 0.5~0.6 mm/a; ③龙门山滑脱拆离带 60 Ma 以来隆升了 1~2 km, 隆升速率为 0.016~0.032 m/a; ④川西前陆盆地 60 Ma 以来隆升了 1.7~3.0 km, 隆升速率为 0.028~0.05 mm/a; ⑤10 Ma 以来, 北川—映秀—小关子断裂西侧的隆升速率是其东侧隆升速率的 40 倍; ⑥60 Ma 以前, 松潘—甘孜褶皱带的隆升与川西前陆盆地的沉降曲线呈镜象关系, 即松潘—甘孜褶皱带隆升较快时, 盆地沉降也较快, 60 Ma 以来, 川西前陆盆地也以隆升为主, 但松潘—甘孜褶皱

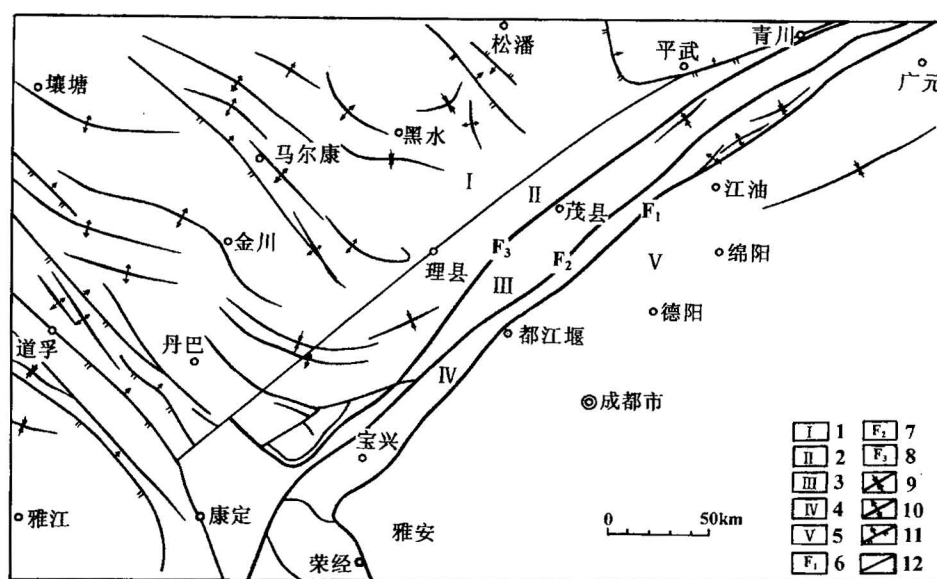


图1 龙门山造山带—川西前陆盆地系统构造单元区划图

Fig. 1 Sketch showing the tectonic units of Longmen Mountain orogenic belt-West Sichuan foreland basin system

1—松潘—甘孜褶皱带; 2—茂汶—汶川—陇东韧性剪切带; 3—龙门山逆冲推覆构造带; 4—龙门山前陆滑脱拆离带; 5—川西前陆盆地; 6—安县—灌县—双石断裂; 7—北川—映秀—小关子断裂; 8—茂汶—汶川—陇东断裂; 9—向斜; 10—背斜; 11—逆断层; 12—构造单元界线

1—Songpan—Canze fold belt; 2—Maowen—Wenchuan—Longdong ductile shear zone; 3—Longmenshan thrust nappe belt; 4—Longmenshan foreland detachment belt; 5—West Sichuan foreland basin; 6—Anxian—Guanxian—Shuangshi fault; 7—Beichuan—Yingxiu—Xiaoguanzi fault; 8—Maowen—Wenchuan—Longdong fault; 9—syncline; 10—anticline; 11—thrust fault; 12—the boundary between tectonic units

带的隆升速率要大得多(图2)。

3.2 龙门山造山带—川西前陆盆地系统盆山间互动的耦合关系

龙门山造山带—川西前陆盆地系统印支期以来共发生了7次挤压收缩构造事件(刘树根等, 2001), 详见表1。由松潘—甘孜海转换而成的松潘—甘孜褶皱带主要形成于 D_1 (印支期卡尼期末)构造事件, 当时的盆山边界(川西地貌盆地的西侧边界, 刘树根等, 1995)位于茂汶—汶川断裂。龙门山逆冲推覆构造带形成于 D_2 (印支期诺利期末)构造事件, 当时的盆山边界(川西前陆盆地的西侧边界)为北川—映秀—小关子断裂。茂汶—汶川—陇东韧性剪切带形成于 D_3 (燕山期, 距今120~130 Ma)构造事件, 当时的盆山边界(川西前陆盆地的西侧边界)仍为北川—映秀—小关子断裂。龙门山前陆滑脱拆离带形成于 D_4 (喜马拉雅期, 距今60 Ma)构造事件, 当时的盆山边界(川西前陆盆地的西侧边界)为安县—灌县—双石断裂。自 D_2 构造事件发生后就形成了川西前陆盆地(刘树根, 1993), 但其西部边界逐渐从西侧向东侧转移, 即表现为盆转山和山定盆的过程。

3.3 龙门山造山带—川西前陆盆地系统岩石圈各层圈间的相互作用

3.3.1 岩浆作用揭示的盆山间各层圈间的相互作用

岩浆岩是深部物质循环过程的直接记录 and 良好标志。龙门山造山带—川西前陆盆地系统的岩浆岩体主要集中分布于茂汶—汶川断裂带西侧, 小金—丹巴一线以北(图3), 并以印支期末—燕山早期最为剧烈, 岩石类型以中酸性侵入岩为主(花岗岩、花岗闪长岩), 并发育同期中基性岩脉(刘树根, 1993; 骆耀南等, 1998; 黄永健等, 2002)。燕山期花岗岩体普遍表现出I型与S型共存的特征。花岗岩中有不少深部地幔物质的参与, 它们为壳幔混合成因的花岗岩, 不同岩体成分上的差异取决于幔源和壳源物质混合的比例。新生代时期的岩浆岩具有三类岩浆组合: 65~35 Ma的壳幔混源型富碱浅成—超浅成侵入岩组合、40~30 Ma的幔源碱性侵入岩组合和15~10 Ma的壳源型花岗岩组合(刘树根, 1993; 骆耀南等, 1998; 黄永健等, 2002)。

因此, 从岩体的岩石组合、岩石化学、微量元素及同位素地球化学对成岩物质的多来源的确认(黄

永健等, 2002), 均证明本区花岗岩中有不少深部物质的参与, 是壳幔混合成因的花岗岩; 基性及酸性岩浆活动, 表明当时深部的地幔/地壳处于相当活跃的状态, 各圈层、块体之间发生着强烈的相互作用和深部的物质循环和调整。本区巨量花岗岩带是盆山耦合过程中深部物质循环的产物; 盆山间在深部具有明显的物质循环。

3.3.2 变质作用揭示的盆山各层圈间的相互作用

通过对变质作用的研究, 可以重塑盆山系统的热结构和热状态, 揭示壳幔相互作用过程。龙门山造山带—川西前陆盆地系统的变质作用主要发生于印支晚期—燕山期, 它相继经历了区域低温动力变质作用和区域动热变质作用的改造和叠加(图3)。前者发生于盆地向造山带转换(松潘—甘孜海盆转换为松潘—甘孜褶皱带)过程中, 后者发生于山控盆过程中(龙门山造山带控制川西前陆盆地的形成)(王国芝等, 2001)。

卡尼期末的区域低温动力变质作用是伴随着第一幕变形 D_1 所发生的同变形的变质, 在空间上不具备明显的变质分带, 为板岩—千枚岩型的单相低绿片岩相的变质; 盆山之间具有连续渐变的热结构和热状态演变。

燕山期变质作用主要为热接触变质作用和动热变质作用, 热接触变质作用以围绕印支—燕山期花岗岩体形成清楚的大小不等变质晕圈为特征(图3)。动热变质作用以上升的深熔花岗岩体为中心或者古老变质杂岩重熔而上隆所造成的热隆构造和穹状递进变质带为特征(图3), 变质作用与岩浆热无直接关系, “热”与“隆”是不同时的, “热”在前, “隆”在后。“热”形成于印支—燕山期, “隆”主要发生于喜马拉雅期(图3)。热结构和热状态由卡尼期的面状热结构转变为这一时期的分散的热中心(图4)。

燕山期区域动热变质作用深层次的穹状递进变

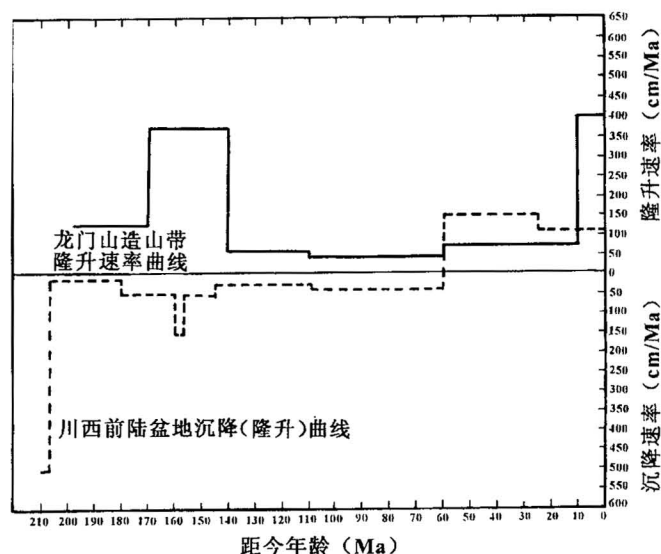


图2 龙门山造山带隆升与川西前陆盆地沉降(隆升)的耦合关系

Fig. 2 Coupling relationship between the uplift of Longmen Mountain orogenic belt and the subsidence (uplift) of West Sichuan foreland basin

质作用的 PTD 或 PTt 轨迹的热历史揭示壳幔间、壳内层圈间相互作用强烈。浅层次穹状递进变质作用 PTt 轨迹的热历史同样揭示壳内层圈间相互作用强烈, 壳幔间的作用控制和影响壳内层圈间的相互作用(黄永健等, 2002)。因此, 燕山期不同构造层次的变质作用以形成穹状递进变质带为特征, 揭示出燕山期壳幔之间、壳内层圈间的相互作用强烈。壳幔间的相互作用控制和影响壳内层圈间的作用。

3.4 龙门山造山带—川西前陆盆地系统盆山间物质循环和能量交换的耦合关系

龙门山造山带—川西前陆盆地系统岩石圈在平面上具分区性, 在剖面上具有层圈性(刘树根等, 1990)。由于地幔深部物质的调整作用, 使盆转山过

表1 龙门山造山带—川西前陆盆地系统构造事件表(刘树根等, 2001)

Table 1 The tectonic events in the system of the Longmen Mountain orogenic belt—West Sichuan foreland basin (after Liu Shugen et al., 2001)

构造期	构造事件	证据	代号
印支期	卡尼期末的构造事件	①形成 S_1 面理和 F_1 褶皱; ②区域低温动热变质作用	D_1
	诺利期末的构造事件(安县运动)	①上三叠统须四段与下伏地层不整合接触; ②较强的岩浆作用; ③川西前陆盆地上三叠统须四段砾岩的分布	D_2
燕山期	120~130Ma	①氩-氩年龄测定; ②锆石裂变径迹年龄; ③岩浆作用; ④变质作用	D_3
喜马拉雅期	60Ma 左右的构造事件	①锆石裂变径迹年龄; ②磷灰石裂变径迹年龄; ③ESR 年龄测定; ④计算机模拟	D_4
	30~40Ma 的构造事件	①磷灰石裂变径迹年龄; ②ESR 年龄测定	D_5
	20~25Ma	①磷灰石裂变径迹年龄; ②氩-氩年龄测定; ③区域地质资料	D_6
	10Ma	①磷灰石裂变径迹年龄	D_7

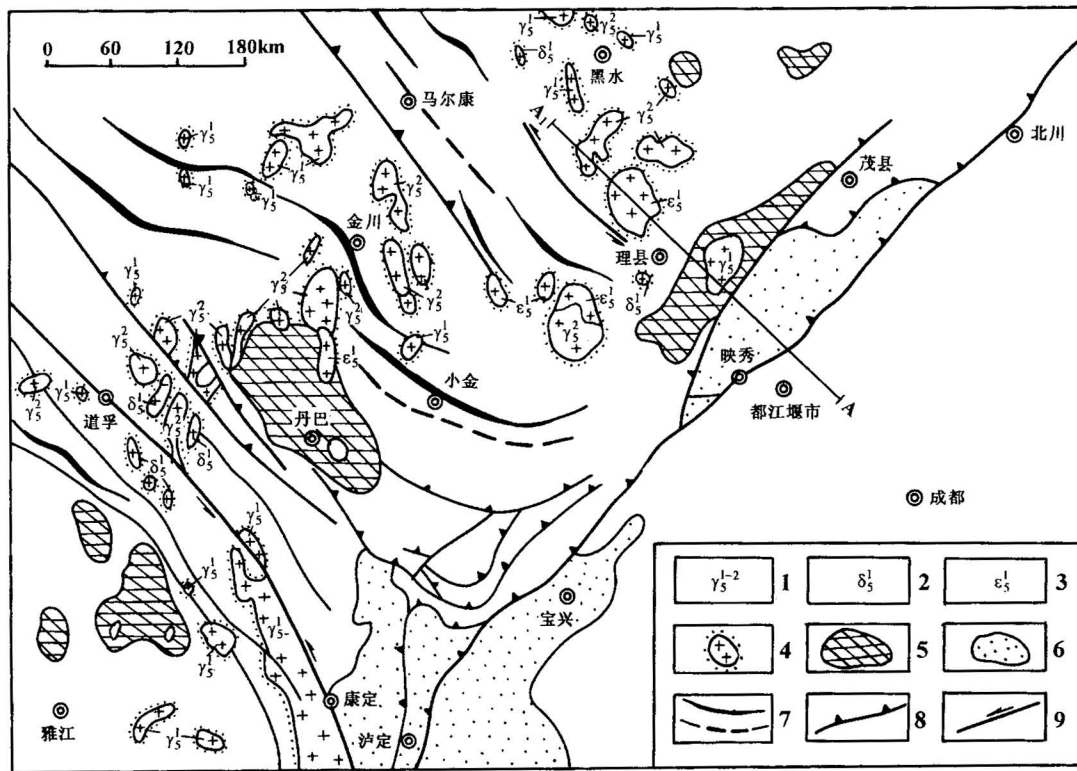


图 3 龙门山造山带—川西前陆盆地系统岩浆岩体、变质晕和穹状递增变质带平面分布图

Fig. 3 The distributions of magmatic bodies, metamorphic aureole and domal progressive metamorphism in the Longmen

Mountain orogenic belt—West Sichuan foreland basin system

1—印支晚期—燕山期花岗岩；2—印支期闪长岩；3—印支晚期正长岩；4—接触变质晕；5—穹状递增变质带分布区；6—基底分布区；7—背斜和向斜；8—逆冲断层；9—平移断层；A₁—A—图 4 的剖面线位置

1—Late Indosinian—Yanshanian granite; 2—Indosinian diorite; 3—Late Indosinian syenite; 4—contact metamorphic aureole; 5—distribution areas of domal progressive metamorphic belts; 6—distribution areas of basement; 7—anticline and syncline; 8—thrust fault; 9—strike-slip fault; A₁—A—the location of the section in Fig. 4

程中造山带地区岩石圈加厚，地幔下坳，造成从川西前陆盆地、龙门山地区到松潘—甘孜褶皱带岩石圈越来越厚的特征。深部物质（软流圈以下层）从川西前陆盆地向造山带蠕散，导致龙门山和四川盆地（扬子板块）所在岩石圈的上地幔顶部层沿软流圈率先向西俯冲潜滑，并引起下地壳沿莫霍面向西俯冲潜滑。这种深部的多级滑脱俯冲使中部地壳层沿壳内高导层、上部地壳层沿结晶基底面和沉积盖层中的塑性层由西向东发生浅部多层次的推覆和滑覆（刘树根等，1991），盆山接合部位由于构造负载产生的挠曲作用形成川西前陆盆地。

因此，龙门山造山带—川西前陆盆地系统盆山耦合过程中的物质流和能量流循环均有二个传递方向（图 5）。能量流的两个传

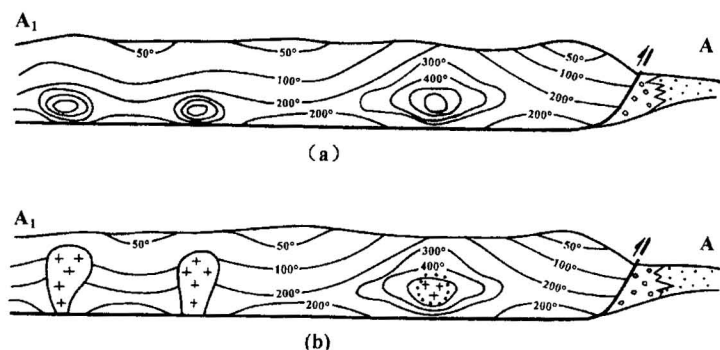


图 4 龙门山造山带—川西前陆盆地的热结构（剖面位置见图 3）

Fig. 4 The geothermal texture of Longmen Mountain orogenic belt—West Sichuan foreland basin system (section location showed in Fig. 3)

(a)—形成穹状递增变质带；(b)—岩浆侵位

(a)—Formation of domal progressive metamorphic belts;

(b)—magmatic emplacement

递方向是：①从深部软流圈和上地幔传向下地壳、中地壳和上地壳；②以壳内高导层为界，其下能量从盆地传向造山带，而其上是从造山带传向盆地。物质流的两个迁移方向是：①地壳高导层之下由沉积盆地迁移（俯冲潜滑）到造山带，在壳内高导层之上，由造山带迁移（推覆和滑覆）到沉积盆地；②在沉积盆地，物质从浅部向深部迁移，而在造山带，物质从深部迁移到浅部。

4 中国西部盆山系统耦合关系的动力学模式

4.1 中国西部前陆盆地与国外前陆盆地特征对比

国外以 Dickinson(1974)及 Bally 等(1980)确定的典型前陆盆地为标志，国内以图 6 中所列的中国西部 9 个前陆盆地特征为准，进行比较，看出二者有共性之处，更多的是个性不同点，由此建议使用 C(中国)-型前陆盆地的概念(罗志立等, 2002)，详见表 2。

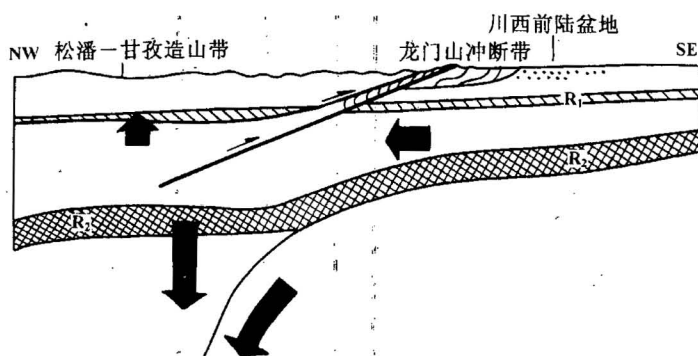


图 5 龙门山造山带—川西前陆盆地系统形成的物质循环和能量循环示意图

Fig. 5 Diagram showing the circulation of material and energy in Longmen Mountain orogenic belt—West Sichuan foreland basin

R₁—壳内塑性层; R₂—软流圈

R₁—Plastic layer within the crust; R₂—asthenosphere

4.2 C(中国)-型俯冲与 B-型及 A-型俯冲对比

Bally (1975) 把弧后缩短过程 (retroarc shortening process) 称之为 A-型俯冲 (A-Subduction)，以纪念瑞士地质学家 Ampferer。然

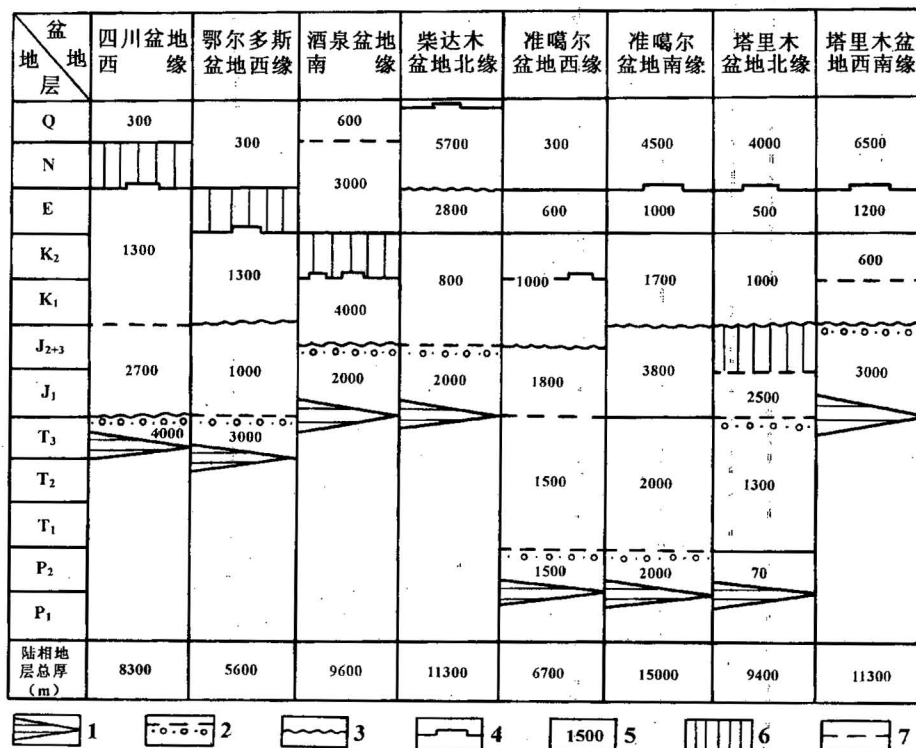


图 6 中国西部 C(中国)-型前陆盆地陆相沉积厚度(m)及构造活动对比

Fig. 6 Comparison between continental deposit thickness(m) and tectonic activities in C-Foreland Basins of West China
1—陆盆开始期; 2—前渊形成期; 3—造山带主要褶皱期; 4—造山带主要抬升期; 5—地层厚度(m); 6—地层缺失; 7—平行不整合
1—Initial formation period of continental basins; 2—formation period of foredeep; 3—main folding periods in orogenic belts; 4—main uplift period of orogenic belts; 5—stratum thickness (m); 6—stratum absence; 7—disconformity

表 2 国内外前陆盆地特征对比表

Table 2 Characteristics comparison between domestic and foreign foreland basins

特 征	周缘前陆盆地弧后前陆盆地	C(中国)-型前陆盆地
命名者	Dickinson(1974), Bally 等(1980)	罗志立等(2002)
区域构造位置	巨型造山缝合带与大型克拉通之间	造山带与微陆块之间
盆地的基本结构	均有前陆冲断带、前渊、前隆和在前渊中堆集磨拉石(处于压性环境中), 但中国基本结构规模小,前隆不明显,缺少岩浆弧	
动力学背景	与全球性的洋、陆俯冲或陆-陆碰撞形成的 A-型俯冲有关	与局部性的 C(陆内)-型俯冲有关
沉积体系配置	以中、新生代海相地层为主,陆相磨拉石发育	以中、新生代巨厚的陆相和磨拉石沉积为主
前陆冲断带发育程度	冲断带宽度大于 100~200km	冲断带宽度仅 20~40km 左右
前陆盆地发育程度	较发育,在造山带前缘成群、成带分布	不发育,在造山带前一般仅一个前陆盆地
盆地沉降动力学机制	构造负载为主,次为沉积负载	沉积负载为主,次为构造负载、C(陆内)-型俯冲有重要作用
发育阶段	消减(subduction)和碰撞(collision)阶段	压榨(squeeze)阶段

表 3 B-型俯冲、A-型俯冲和 C(陆内)-型俯冲带特征对比表

Table 3 Comparison among characteristics of A-Subduction, B-Subduction and C-Subduction zones

特 征	A-型俯冲(Bally 1975; Bally et al., 1980)	B-型俯冲(Bally 1975; Bally et al., 1980)	C-型俯冲(罗志立, 1984, 1994; 罗志立等, 2002)
大地构造位置	位于火山弧大陆一侧,或陆-陆碰撞造山带一侧	位于洋壳向陆壳俯冲的太平洋型边缘	位于大陆褶皱带和前陆盆地结合部位
沉积特征	中、新生代海陆过渡相沉积为主	弧前盆地的陆相到海相沉积	中新生代陆相沉积为主,厚度巨大
变动时间	中新生代	中新生代	晚中生代和新生代
变动前构造背景	火山弧后盆地	太平洋型大陆边缘	中国大陆拼结之后
中浅部构造形态	倾向大洋的弧后冲断带,或倾向造山带	倾向大陆的叠瓦状消减带杂岩体	古生代褶皱山系前缘,俯冲带倾向造山带
深部地壳结构	基底与盖层滑脱形成薄皮构造	洋壳向大陆边缘俯冲	沿深部地壳或上地幔中塑性层发生多层次滑脱
动力学特点	由于 B-型俯冲活动在大陆一侧形成配套的 A-型俯冲	由于洋脊扩张迫使洋壳向陆壳发生俯冲	由前陆盆地沉积和构造负荷,和邻区板块构造活动触发形成的复合作用
前陆盆地	形成 Dickinson 的弧后前陆盆地和周缘前陆盆地	相当 Bally 的前弧盆地	C(中国)-型前陆盆地

而, Bally 一再否认中国有 A-型俯冲带存在, 1994 年 Bally 来中国 CNPC 石油物探局讲学时, 仍持同样的看法, 认为“西太平洋的 B-型俯冲带没有一个对应的 A-型俯冲带”, “A-型俯冲带类型不能应用于蒙古和中国”(罗志立, 1994)。Bally 等(1980)指出“部分硅铝质地壳物质可能在巨缝合带之下进入中等深度”。然而, 褶皱冲断作用仅使地壳加厚, 硅铝质地壳不能被地幔消耗。因此, 在大陆地壳缩短作用中, 使用 A-型俯冲的概念是误解了命名者的用意(Miall, 1995)。因此, 中国西部盆山系统耦合关系的动力学模式不能直接应用 A-型俯冲的模式。

罗志立(1984)提出了 C-型俯冲的概念, 并系统地比较了 B-型俯冲、A-型俯冲和 C-型俯冲的异同点(罗志立, 1994), 详见表 3 和图 7。

4.3 中国西部盆山系统耦合关系的动力学模式

基于中国西部前陆盆地的特殊性和 A-型俯冲模式不能直接应用到中国西部的认识, 我们认为中国西部盆山系统耦合关系的动力学模式为 C(陆内)-型俯冲。对单侧盆地型盆山系统的动力学模式,

我们曾称之为 L(龙门山)-型俯冲(图 5)(刘树根等, 1991), 对双侧盆地型盆山系统的动力学模式曾称之为 T(天山)-型俯冲(图 7)(罗志立等, 1995)。古近纪末, 由于受印度板块对青藏板块碰撞的影响, 塔里木盆地北部和准噶尔盆地南部向天山造山带下发生 C(陆内)-型俯冲, 天山迅速抬升, 在其南北两侧山前拗陷和山间盆地中接受了巨厚的陆相红色沉积建造(图 7)。高祥林^①据重力场和定量动力学研究结果证明, 因下地壳的流变性质和地表剥蚀作用, 理论预测估计天山的高度应在几百万至几千万年内减少一半, 即不应有现在的高度。因此, 一定有一种深部动力过程使山脉维持持续上升(即 T-型俯冲), 它就是山脉地表的剥蚀与下地壳流动的耦合(图 8)。这也构成了与单侧盆地型盆山系统耦合关系相似的物质循环和能量循环的传递系统(图 5)。

① 高祥林, 宋正范, 王懋基, 侯遵泽. 1999. 中国大陆中新生代构造变形格局与重力场分区特征的关系. 中国地震局地质研究所(科研报告).

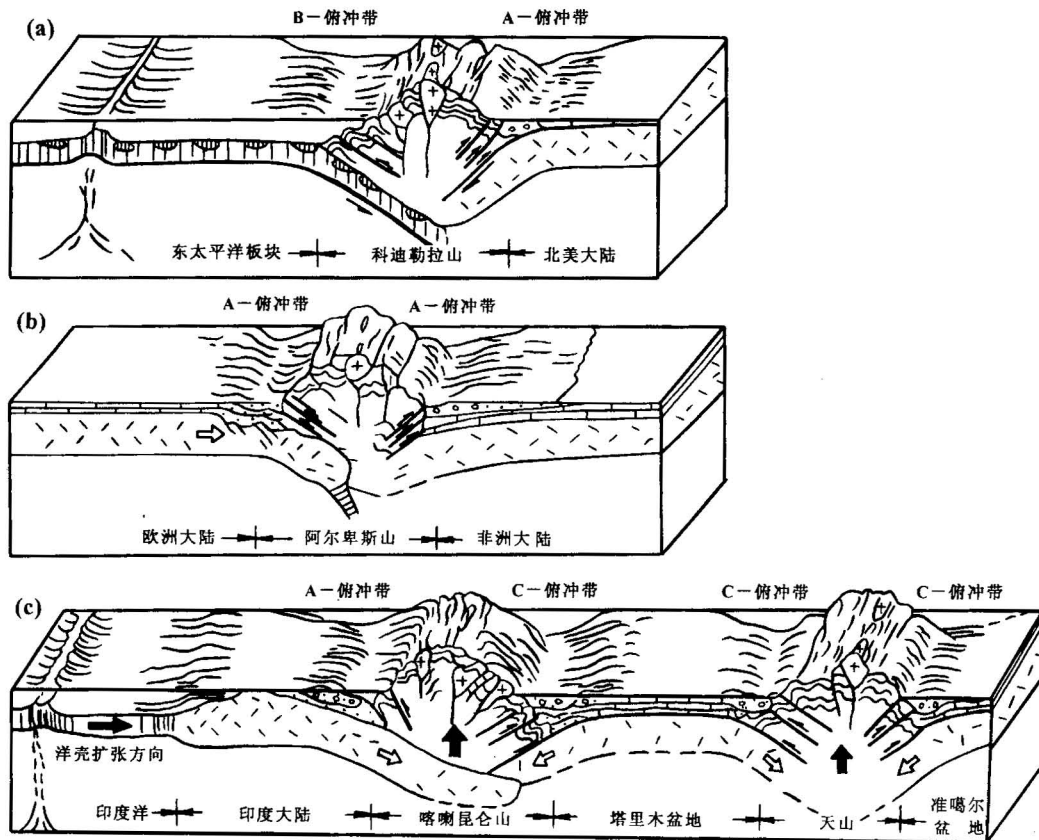


图 7 C-型俯冲与B-型及A-型俯冲对比图

Fig. 7 Comparison among B-subduction, A-subduction and C-subduction

(a)—洋-陆俯冲形成的科迪勒拉造山带(据 Bally, 1975); (b)—陆-陆碰撞形成的巴尔干型造山带(据 Bally, 1975); (c)—C-型俯冲形成的喀喇昆仑山和天山型造山带

(a)—Cordilleran orogenic belt formed by ocean-continental subduction (after Bally, 1975); (b)—Balkan orogenic belt formed by continent-continent subduction (after Bally, 1975); (c)—Karakorum orogenic belt and Tianshan orogenic belt formed by C (continental)-subduction

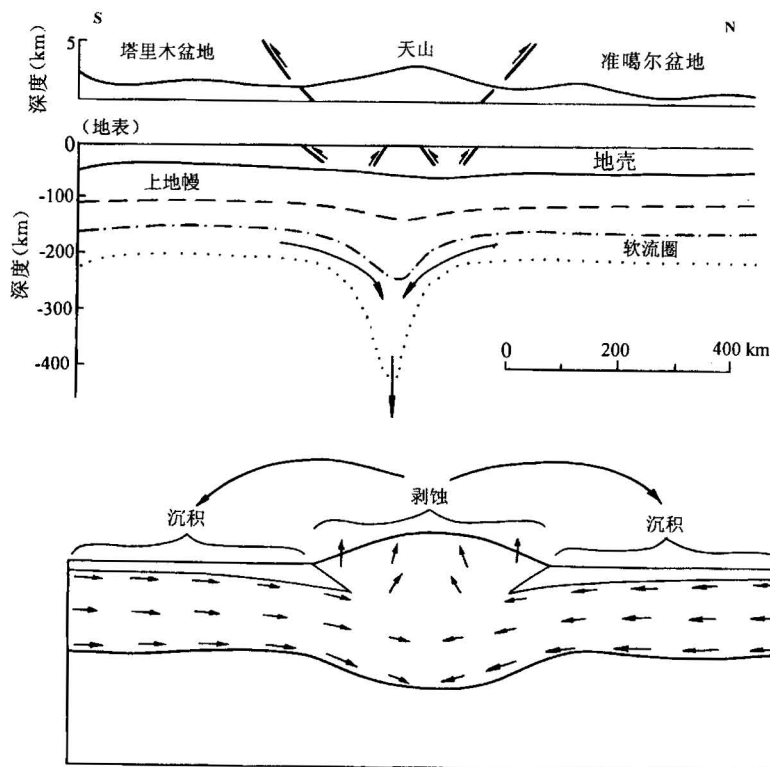


图 8 塔里木盆地—天山造山带—准噶尔盆地系统形成的物质循环和能量循环示意图(据高祥林等, 1999)

Fig. 8 Diagram showing the circulation of material and energy in Tarim Basin—Tianshan Mountain—Zhungar Basin system(after Gao Xianglin et al., 1999)

5 结论

(1) 盆山系统是陆块相互作用、岩石圈层圈相互耦合的复杂系统, 主要表现为物质的循环系统和能量的交换系统。盆山系统形成演化过程中造山带和沉积盆地之间一切相互作用的总和即为盆山间的耦合关系。

(2) 盆山系统是中国西部中新世构造的基本格局, 并有单

侧盆地型盆山系统和双侧盆地型盆山系统两种基本类型。

(3) 小陆块拼合、多旋回构造运动和陆内构造活动强烈等是中国西部盆山系统形成演化的地质背景。

(4) 中国西部盆山系统盆山间耦合关系在垂向上表现为造山带隆升与沉积盆地沉降呈镜像关系,在横向上表现为物质流和能量流循环均有两个传递方向,并且盆山系统岩石圈各层圈间有着强烈的相互作用。

(5) 中国西部盆山系统盆山间耦合关系的动力学模式为C(陆内)-型俯冲,对于单侧盆地型盆山系统其耦合关系的动力学模式为L(龙门山)-型俯冲,而双侧盆地型盆山系统其耦合关系的力学模式为T(天山)-型俯冲。

参 考 文 献

- 黄永健,张成江,汪云亮,刘树根,王国芝. 2002. 龙门山造山带中生代花岗岩带成因及其构造意义. 成都理工学院学报, 29(1): 69~73.
- 骆耀南,俞如龙,侯立伟,赖绍民,付德明,陈茂勋,付小方,饶荣标,周世枢. 1998. 龙门山—锦屏山陆内造山带. 成都: 四川科学技术出版社, 13.
- 罗志立. 1984. 试论中国型(C-型)冲断带及其油气勘探问题. 石油与天然气地质, 5(4): 315~324.
- 罗志立. 1994. 试评 A-型俯冲带术语在中国大地构造学中的应用. 石油实验地质, 16(4): 317~324.
- 罗志立,宋鸿彪,赵锡奎. 1995. C-型俯冲带及对中国中西部造山带形成的作用. 石油勘探与开发, 22(2): 1~7.
- 罗志立. 1999. 中国石油天然气形成的地质构造背景. 见: 邱中健, 龚再生. 中国油气勘探, 第1卷, 第1章. 北京: 地质出版社和石油工业出版社, 1~19.
- 罗志立,刘树根. 2002. 评述“前陆盆地”名词在中国中西部含油气盆地中的引用——反思中国石油构造学发展. 地质论评, 48(4): 398~407.
- 刘和甫. 1999. 大陆造山带与盆地耦合机制之一——连锁断层系统(“造山带研究”笔谈会). 地学前缘, 6(3): 13~14.
- 刘树根,罗志立,宋鸿彪,曹树恒. 1990. 四川龙门山冲断带中北段岩石圈结构研究. 石油与天然气地质, 11(1): 86~95.
- 刘树根,罗志立,曹树恒. 1991. 一种新的陆内俯冲类型——龙门山型俯冲成因机制研究. 石油实验地质, 13(4): 314~323.
- 刘树根. 1993. 龙门山冲断带与川西前陆盆地的形成演化. 成都: 成都科技大学出版社, 17~21.
- 刘树根,童崇光,罗志立,戴苏兰,庞家黎,张国政,何军. 1995. 川西晚三叠世前陆盆地的形成与演化. 天然气工业, 15(2): 11~15.
- 刘树根,赵锡奎,罗志立,徐国盛,王国芝, Wilson C J L, Dennis Arne. 2001. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统构造事件研究. 成都理工学院学报, 28(3): 221~230.
- 任纪舜,牛宝贵,刘志刚. 1999. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用. 地学前缘, 6(3): 85~93.
- 王国芝,刘树根. 2001. 龙门山穹状递变变质作用特征及岩石圈深部作用信息. 矿物岩石, 21(1): 71~76.
- ### References
- Bally A W. 1975. Dynamics Geology of Oil and Gas, Global Tectonics and Petroleum Exploration. Beijing: Oil and Chemical Industry Press, 51~72.
- Bally A W, Snelson S. 1980. Realm of subsidence. In: Miall A D, ed. Facts and Principles of World Petroleum Occurrence. Men. Can. Soc. Petro. Geol., 9~75.
- Dickinson W R. 1974. Plate tectonics and sedimentation. In: Dickinson W R, ed. Tectonics and Sedimentation. Tulsa: Spec. Publ. Soc. Econ. Plaeont. Miner, 22: 1~27.
- Huang Yongjian, Zhang Chengjiang, Wang Yunliang, Liu Shugen, Wang Guozhi. 2002. Genesis and tectonic significance of the Mesozoic Era granite terrain in Longmen Mountains Orogen. Journal of Chengdu University of Technology, 29(1): 69~73 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hefu. 1999. One of the coupling mechanisms between continental orogenic belts and sedimentary basins-linked decollement fault system. In: Conversation by Writing on “Orogenic Belts”. Earth Science Frontiers, 6(3): 13~14 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shugen, Luo Zhili, Song Hongbiao, Cao shuheng. 1990. Study on the lithosphere texture of Longmenshan thrust belt (central-northern section) in Sichuan Province. Oil & Gas Geology, 11(1): 86~95 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shugen, Luo Zhili, Cao Shuheng. 1991. On the mechanism of a new type of intracontinental subduction—the Longmenshan Subduction. Experimental Petroleum Geology, 13(4): 314~323 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shugen. 1993. The Formation and Evolution of Longmenshan Thrust Zone and West Sichuan Foreland Basin. Chengdu: Press of Chengdu University of Science and Technology, 17~21 (in Chinese).
- Liu Shugen, Tong Chongguang, Luo Zhili, Dai Sulan, Pang Jiali, Zhang Guozheng, He Jun. 1995. The formation and evolution of late Triassic West Sichuan Foreland Basin. Natural Gas Industry, 15(2): 11~15 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shugen, Luo Zhili, Dai Sulan, Dennis Arne, Wilson C J L. 1996. The uplift of Longmenshan Thrust Belt and subsidence of the West Sichuan Foreland Basin. Acta Geological Sinica, 9(1): 16~25.
- Liu Shugen, Zhao Xikui, Luo Zhili, Xu Guosheng, Wang Guozhi, Wilson C J L, Dennis Arne. 2001. Study on the tectonic events in the system of the Longmen Mountain-West Sichuan foreland basin, China. Journal of Chengdu University of Technology, 28(3): 221~230 (in Chinese with English abstract).
- Luo Zhili. 1984. A preliminary approach on C—Subduction and its hydrocarbon prospecting. Oil and Gas Geology, 5(4): 315~324 (in Chinese with English abstract).
- Luo Zhili. 1994. A review on the terminology of A—Subduction in the geotectonics of China. Experimental Petroleum Geology, 16(4): 317~324 (in Chinese with English abstract).
- Luo Zhili, Song Hongbiao, Zhao Xikui. 1995. C—Subduction and its roles in the formation of the orogenic belts in central—western China. Petroleum Exploration and exploitation. 22(2): 1~7 (in Chinese with English abstract).
- Luo Yaonan, Yu Rulong, Hou Liwei, Lai Shaomin, Fu Deming, Cheng Maoxun, Fu Xiaofang, Rao Rongbiao, Zhou Shishu. 1998. Longmenshan-Jinpingshan intracontinental orogenic belt.

- Chengdu: Press of Sichuan Science and Technology, 13 (in Chinese).
- Luo Zhili. 1999. Geological Setting of Chinese Petroleum Provinces. In: Qiu Zhongjian, Gong Zaisheng, ed. Petroleum Exploration in China. Beijing: Geologic Publishing House and Petroleum Industry Press, 1~19 (in Chinese).
- Luo Zhili, Liu Shugen. 2002. Comments on the citation of the term "foreland basin" in the petroliferous basins of central and western China—a review on the development of Chinese petroleum tectonics. Geological Review, 48(4): 398~407 (in Chinese with English abstract).
- Miall A D. 1995. Collision-related foreland basins. In: Cathy J B, Raymond V I, ed. Tectonics of Sedimentary Basins. Blackwell Science, 393~424.
- Ren Jishun, Niu Baogui, Liu Zhigang. 1999. Soft collision, superposition orogeny and polycyclic suturing. Earth Science Frontiers, 6(3): 85~93(in Chinese with English abstract).
- Wang Guozhi, Liu Shugen. 2001. The characteristic of domal progressive metamorphism and deep process information from lithosphere in Longmenshan, China. Journal of Mineralogy and Petrology, 21(1):71~76 (in Chinese with English abstract).

Coupling Relationships of Sedimentary Basin-Orogenic Belt Systems and Their Dynamic Models in West China

—A Case Study of the Longmenshan Orogenic Belt—West Sichuan Foreland Basin System

LIU Shugen, LUO Zhili, ZHAO Xikui, XU Guosheng, WANG Guozhi, ZHANG Chengjiang

State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation,

Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059

Abstract

Orogenic belts and sedimentary basins are twins developed in a geodynamic system, which formed a sedimentary basin—orogenic belt system. A sedimentary basin—orogenic belt system is a complex system formed by the interactions of continental blocks and the coupling of different spheres in the lithosphere, both of which are substance cycling systems and energy exchanging systems. The coupling relationships between sedimentary basins and orogenic belts refer to all of their interactions in their formation and evolution. Sedimentary basin—orogenic belt systems are characteristic of the basic Mesozoic—Cenozoic structural pattern in West China. There are two fundamental types of sedimentary basin—orogenic belt systems in West China, i. e. simple-flank-basin sedimentary basin—orogenic belt system and double-flank-basin sedimentary basin—orogenic belt system. Microcontinental amalgamation, multi-cycle tectonic movements and intensive intracontinental tectonic activities are the main geologic setting of the formation and evolution of sedimentary basin—orogenic belt systems in West China. The coupling relationships of sedimentary basin—orogenic belt systems include: (1) enantiomorphous relationship between the uplifting of orogenic belts and the vertical subsiding of sedimentary basins, (2) bi-direction transfer of substance flow and energy flow in the horizontal direction, and (3) intensive interactions between different spheres of the lithosphere. The coupling relationship dynamic model of the sedimentary basin—orogenic belt systems in West China is a C (intracontinental)-subduction, which is an L (Longmenshan)-subduction for the simple-flank-basin sedimentary basin—orogenic belt systems and T (Tianshan)-subduction for the double-flanks-basin sedimentary basin—orogenic belt systems.

Key words: sedimentary basin—orogenic belt system; coupling relationship; dynamic model; C (intracontinental)-subduction; western China

~~~~~