

米仓山构造转换带特征及转换模式*

孙东^{1,2} 刘树根² 李智武² 孙玮²
邓宾² 钟勇² 李金奎²

(1. 四川省地矿局成都水文工程地质中心 成都 610081;

2. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室 成都 610059)

摘要 米仓山构造带被北东走向的龙门山陆内复合造山带及北北西走向的大巴山前陆冲断带夹持于其间,两个构造带平面上组成一个“八”字形构造,空间上为一个向北收敛,向南发散背倾型的I型三角带构造。在两大构造带前展式扩展变形晚期的过程中,米仓山则起到调节这两大构造带构造平衡的作用,因此为一构造转换带。米仓山构造转换带由北向南可以分为基底冲断隆起带、南缘滑脱变形带、川北类前陆盆地平缓褶皱带。基底冲断隆起带与川北类前陆盆地平缓褶皱带,在调节两侧造山带构造平衡时表现出明显的差异性。米仓山基底隆冲断带,由于其岩石的刚性,主要是发育脆性的断裂作用,通过垂向上的抬升,横向上的缩短来调节构造平衡。而川北类前陆盆地平缓褶皱带,岩石能干性较基底岩石弱,主要是通过北东走向及北西走向的褶皱作用、少量北西走向的断层作用和垂向上相对下降作用等调节来自两侧造山带的构造平衡。通过对米仓山构造转换带的构造特征分析表明,米仓山岩石的物理性质及先存的基底隆起构造是导致其变形差异性的主因,构造缩短量及缩短率是其次因。

关键词 构造转换带 转换模式 米仓山 龙门山 大巴山

中图分类号:P542

文献标识码:A

文章编号:0563-5020(2011)03-620-18

1 构造转换带的概念及分类

1.1 构造转换带的概念

转换带(Transfer Zone)的概念是Dahlstrom(1970)在研究挤压变形中褶皱-逆冲断层的几何形态时首次提出的。其定义为:挤压变形带中的应变和位移量在区域上是守恒的,但逆冲断层带各段内的单个构造型式不是不变的。当逆冲断层带沿走向变化时,可以见到一条主逆冲断层通过其它型式的构造(如分支断层或褶皱)转换到或者变换为另一条主逆冲断层,这种首尾主逆冲断层之间的构造带称为转换带。随后,构造转换带的概念更为广泛的应用到研究伸展构造体系(Morley et al., 1990; Gawthorpe and Hurst, 1993; Huggins et al., 1995; Mack and Seager, 1995; Moustafa, 1997, 2002; 刘剑平等, 2000; Morewood and Roberts, 2000; Kornsawan and Morley, 2002; Nicol et al., 2002; Peacock, 2003; Quintana et al., 2006),其定义为:伸展构造体系下,控凹的正断层在横向

* 国家自然科学基金项目(编号:40802049)资助。

孙东,男,1982年8月生,博士研究生,构造地质学专业。E-mail: sundong2003@126.com

2010-12-30 收稿, 2011-04-22 改回。

上可以延伸数百公里,但其往往由多条正断层构成,这种在走向上控凹断层可以通过其它的构造形式(如分支断层、凸起、转换斜坡或转换断层等)将位移转换到另外一条控凹正断层,这两条控凹断层之间的区域,称为构造转换带(Morley et al., 1990)。由此可见,构造转换带既可以出现在挤压构造背景之下,也可以出现在伸展构造背景之下。综合前人对构造转换带研究的认识,作者认为广义的构造转换带无论其处于什么样的构造背景下(可以是挤压、伸展,也可以是剪切),但其共同的特征是起到调节构造平衡的作用,它内部构造变形同样包括了褶皱作用和断裂作用,以及转换斜坡、突起等,它既能使两个构造之间的位移(包括挤压断层的缩短、正断层的垂向位移、平移断层的走滑位移)守恒,同样也可以使两个构造之间的位移发生规则、平滑的变化。

从目前的研究情况来看,前人对伸展背景下的构造转换带研究较多(Morley et al., 1990; Gawthorpe and Hurst, 1993; Huggins et al., 1995; Mack and Seager, 1995; Moustafa, 1997, 2002; Morewood and Roberts, 2000; 刘剑平等, 2000; Kornawan and Morley, 2002; Nicol et al., 2002; Peacock, 2003; Quintana et al., 2006),且研究较为深入,主要涉及了转换的分类、构造样式、对水系及沉积地层的控制等。而对于挤压变形区和剪切变形区的转换带研究还仅仅局限于几何学层面的认识(Peacock and Sanderson, 1995; 赵红格等, 2000; Thomas and Bayona, 2002; Davis et al., 2005; Higgins et al., 2007; 宁飞等, 2009; Jin et al., 2010),对于其转换调节机制有待进一步深入研究。

1.2 构造转换带的分类

从构造背景上,转换带可以分为挤压型转换带(Convergent Transfer Zone)、伸展型转换带(Extensional Transfer Zone)和走滑型转换带(Strike-slip Transfer Zone)。挤压构造背景下的构造转换带又可以根据其断层组合的空间形态分为同倾向型、相向倾斜性、背向倾斜型 3 类(Higgins et al., 2007; 宁飞等, 2009)(图 1)。伸展构造背景下的构造转换带同样可以根据其断层组合的空间形态细分为同倾向型、相向倾斜性、背向倾斜型(Morley et al., 1990; Gawthorpe and Hurst, 1993; 赵红格等, 2000)。走滑型转换带则相对较为简单,主要形成一系列与其斜交的构造(Peacock and Sanderson, 1995; 张家声等, 2010)。而根据断层消失端重叠长度、转换带的结构构造等因素,可以进一步对转换带类型进行细分,但鉴于非本文的重点,不再累述。详细分类可参考文献(刘剑平等, 2000; 赵红格等, 2000; Higgins et al., 2007; 宁飞等, 2009)。

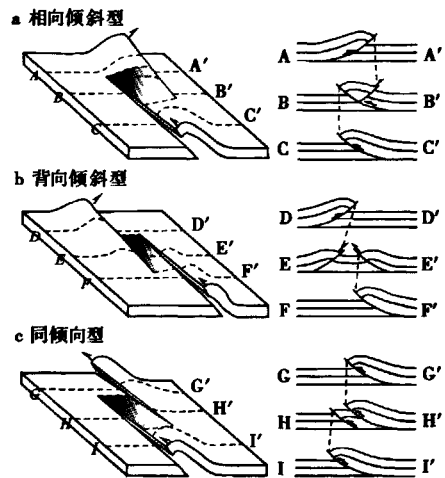


图 1 挤压区域 3 种不同类型构造转换带示意图

(据 Higgins et al., 2007; 宁飞等, 2009)

Fig. 1 Schematic diagram showing the three types of convergent structural transfer zones

2 米仓山构造转换带及邻区构造几何学特征

2.1 区域地质背景

米仓山构造转换带位于扬子板块向北凸出的边缘,北邻东西向秦岭造山带、宁强断褶带和汉南岩浆底辟隆起,西侧为松潘—甘孜造山带和北东向龙门山陆内复合造山带,东侧为大巴山冲断带,南侧为四川盆地(图2)。米仓山构造转换带经历了多期次的构造作用,其中影响最为强烈的是秦岭造山带的形成、龙门山陆内复合造山带及大巴山冲断带的崛起。

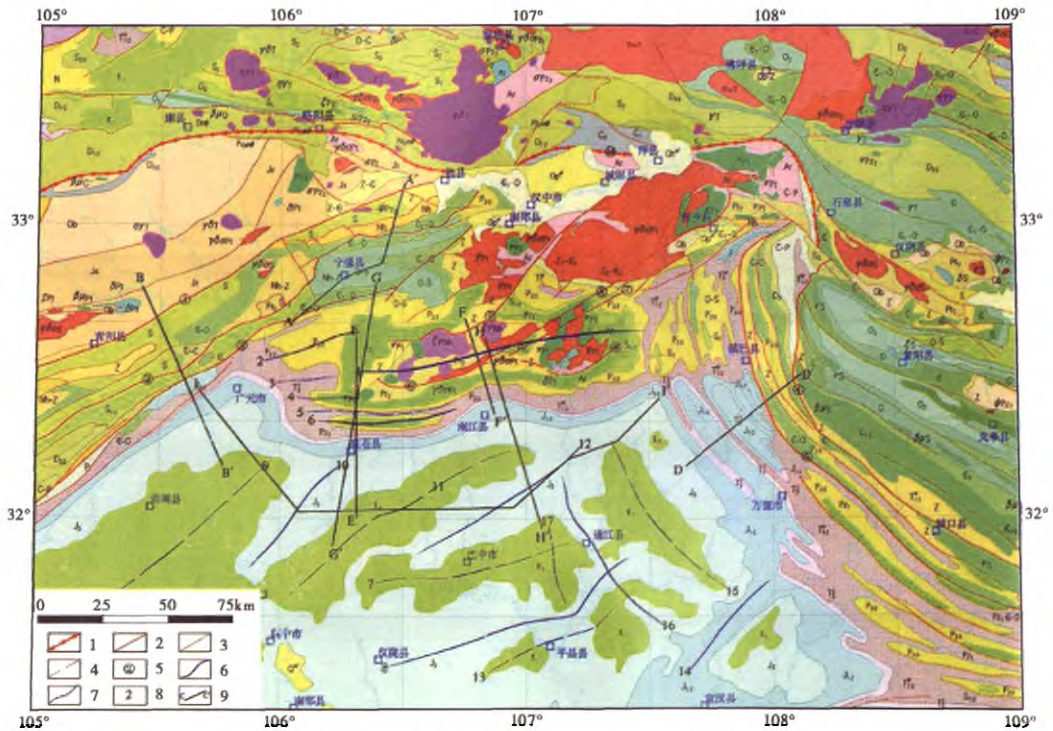


图2 米仓山构造转换带及邻区地质图

1. 勉略缝合带; 2. 边界断层; 3. 一般断层; 4. 推测断层; 5. 断层编号; 6. 背斜轴迹;
7. 向斜轴迹; 8. 褶皱编号; 9. 剖面位置及代号

Fig. 2 Geological map of Micang Mountain structure transfer zone and adjacent region

位于米仓山北侧的秦岭造山带经历了两期大规模的构造作用。1) 元古代—早古生代商丹洋的打开与关闭,导致华南板块沿商丹缝合带向北秦岭之下俯冲,在中志留世—泥盆纪最终碰撞造山(张国伟等, 1996; Meng and Zhang, 1999, 2000); 2) 位于商丹缝合带南侧的勉略洋于中—晚古生代打开,扬子板块于早—中三叠世开始向南秦岭之下俯冲,最终在晚三叠世发生碰撞造山(Meng and Zhang, 1999, 2000; 张国伟等, 2003, 2004)。该次构造事件使米仓山有了一定的雏形,同时使得米仓山西侧的龙门山由北向南逐渐崛起(刘树根等, 2009),也使得米仓山东侧的大巴山冲断带逐渐向南(南西)推进(李智武,

2006)。新生代由于受青藏高原的隆升,龙门山发生由南向北的构造反转及递进隆升变形(刘树根等,2009),对整个米仓山及其邻近区产生了较为明显的影响。

2.2 平面几何学特征

米仓山构造转换带位于扬子板块北缘,西侧与龙门山陆内复合造山带北段相接,东侧与大巴山冲断带西段接壤(图2),其特殊的构造位置造就了米仓山构造的复杂性。

(1) 龙门山陆内复合造山带北段平面几何学特征

与米仓山构造带西段相接的为龙门山陆内复合造山带北段,其构造走向为北东—南西走向,主要由一系列的北东—南西走向的断裂及褶皱组成。西侧以青川—勉县断裂为界,将北西侧的碧口群变质火山岩系和南东侧的志留系茂县群千枚岩截然分开,东侧以朝天—新集断裂为界,分开了龙门山陆内复合造山带与四川盆地边缘单斜层及米仓山构造转换带。在青川—勉县断裂和朝天—新集断裂之间发育了一系列的北东—南西走向的断层及少量的北西—南东走向的横断层;断层之间的古生界—中生界发生了强烈的褶皱变形。

(2) 大巴山前陆冲断带西段平面几何学特征

大巴山冲断带位于米仓山构造带东侧,该构造带的平面几何学特征较为复杂,为一组弧形断褶皱带,自西向东,构造线走向有明显变化,最北端为近南北向,镇巴以南—城口以北一带为北西向,继而向东又转为近东西向,弧顶大致在城口一带,向北与秦岭构造带斜交。大巴山前陆冲断带与其东北侧的北大巴山推覆构造带共同构成了大巴山冲断带,其间为城口—房县深断裂分隔(李智武,2006;李智武等,2006;刘树根等,2006),南大巴山冲断带向西,地表无明显的断裂与四川盆地及米仓山构造带相隔,呈过渡渐变关系。构造线以北北西向为主,变形以挤压为主,形成彼此平行排列的断裂和褶皱带,并以出露大片侏罗系地层为特征。大巴山前陆冲断带内由一系列略微向西凸出的弧形断裂带构成,包括兴隆场断裂、坪坝断裂、镇巴断裂和鸡鸣寺断裂等(李智武,2006;李智武等,2006)。以镇巴断裂和鸡鸣寺断裂为界,东侧主要发育数条平行的断裂以及夹于其间的由震旦系—中—下三叠统组成的逆冲褶皱岩片构成,西侧发育一系列晚古生代—中生代地层组成的轴迹向西弧形凸出的褶皱变形,褶皱形态以倒转—同斜背斜为主。

(3) 米仓山构造转换带平面几何学特征

从平面上看,米仓山构造形迹分为两大构造方向,1)走向北东东的构造形迹,包括了正源—朱家坝断裂、米仓山复背斜隆起、大两会背斜以及南缘白垩系地层组成的梓潼—通江向斜;2)走向北东的一系列断层构造,包括峡口—上两断裂、西乡—官坝—水磨断裂、牟家坝—槐树—国华断裂,而在米仓山前缘盆地内则为北东走向的宽缓褶皱变形构造。

构造转换带的构造形迹与伸展或收缩运动方向一致,大致与主体构造走向垂直或者呈大角度的斜交(燕守勋等,1996)。从米仓山构造转换带两侧的龙门山陆内复合造山带及大巴山前陆冲断带平面几何学特征来看,两侧构造带组成一个“八”字形构造,而米仓山构造转换带则位于“八”字形构造带的中间,近东西向的米仓山构造带与两侧的构造带均呈大角度斜交关系。

2.3 三维构造几何学特征

(1) 龙门山陆内复合造山带北段三维几何学结构

位于米仓山西侧的龙门山陆内复合造山带北段,北西以青川—阳平关断裂为界,与北西侧的碧口群变质火山岩系相接;在朝天以南地段,南东与四川盆地,地表以单斜层逐渐变缓而过渡,无明显断裂分隔,从剖面上看南东以广元—江油隐伏断裂为界;而朝天至新集一带地表断裂明显,以朝天—新集断裂与米仓山相接。龙门山陆内复合造山带北段以中央断裂(北东为舒家坝—华山断裂(图3),南西为林庵寺—凉水断裂(图4))为界分为后龙门山陆内造山带及前龙门山陆内造山带。

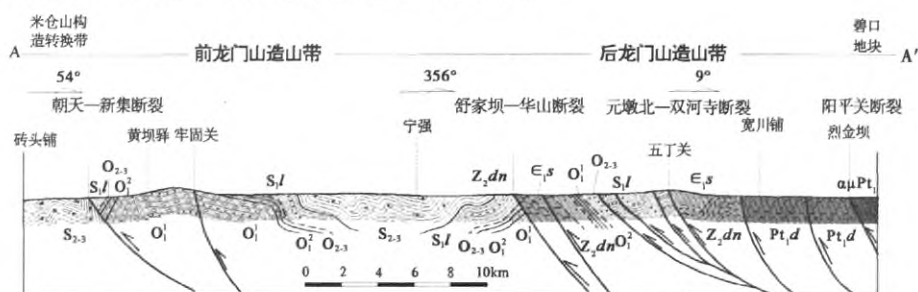


图3 大竹坝—烈金坝构造剖面

$S_{2,3}$, 中上志留统; $S_{1,l}$ 下志留统龙马溪组; $O_{2,3}$, 中上奥陶统; O_1^2 , 下奥陶统上段; O_1^1 , 下奥陶统下段; $\epsilon_{1,s}$, 下寒武统石牌组; $Z_{2,dn}$, 上震旦统灯影组; $Pt_{1,d}$, 下元古界东房沟组; $\alpha\mu Pt_1$, 下元古界火山岩

Fig. 3 Dazhu-Liejinba structural cross section

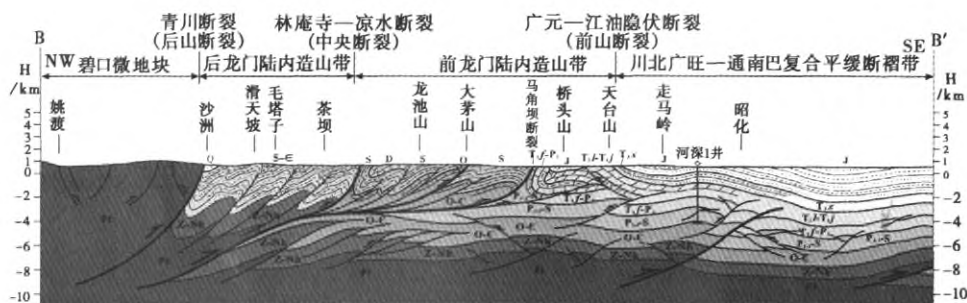


图4 青川—河深1井构造剖面图

Q. 第四系; J. 侏罗系; $T_{3,x}$, 上三叠统须家河组; $T_{2,l-T_{1,j}}$, 中三叠统雷口坡组-下三叠统嘉陵江组; $T_{1,f}-P_3$, 下三叠统飞仙关组—上二叠统; $P_{1,2}-S$, 中下二叠统一志留系; D. 泥盆系; S. 志留系; $S-\epsilon$, 志留系—寒武系; O. 奥陶系; $O-\epsilon$, 奥陶系—寒武系; $Z-Nh$, 震旦系—南华系; Pt. 元古宇

Fig. 4 Qingchuan-Heshen 1 drill structure cross section

后龙门山陆内造山带主要由前震旦系基底杂岩和震旦系—泥盆系浅变质岩组成。由一系列的走向北东,倾向北西的叠瓦状基底卷入冲断变形和发育同劈理褶皱为典型特征,在朝天以北地段,断裂作用明显强于褶皱作用,而在朝天以南,褶皱作用强于断裂作

用。叠瓦状逆冲断层组在接近地表时产状较陡,向地下深处产状逐渐变缓(图4)。

龙门山陆内复合造山带北段的前龙门山陆内造山带构造变形差异性比较明显。在朝天以南地层为古生界的寒武系—二叠系,变形特征是褶皱冲断带——正常或倒转褶皱及叠瓦断层系统,同时存在飞来峰构造,但发育程度远低于龙门山中段前山地区,断层接近地表产状较陡,向下变缓,最终交汇于一个主断面之上(图4)。而在朝天—新集之间,卷入地层为古生界的寒武系—志留系,带内主要发育数条平行展布的逆冲断层,断层间褶皱形态与朝天以南有明显的区别,在志留系龙马溪组非能干层内褶皱形态较为复杂,局部地段可能出现倒转同斜—紧闭褶皱,而在奥陶系相对能干岩层中,褶皱形态多表现为箱状褶皱(图3)。

龙门山陆内复合造山带北段总体上表现为走向北东,倾向北西的叠瓦状逆冲构造。变形强度由北西的基底卷入冲断变形向南东逐渐减弱为盆地边缘的单斜构造。但在地下深部,仍然可见到一系列的逆冲断层逐渐向盆地内扩展变形,局部地段发育少量对冲断层,但规模一般比前者小(图4)。总体来看,龙门山陆内复合造山带为前展式构造。

(2)大巴山冲断带三维几何学结构

大巴山冲断带位于米仓山构造带东侧,以城口断裂为界分为南大巴山前陆冲断带及北大巴山逆冲推覆构造带(图5)。与米仓山相接的为南大巴山前陆冲断带西段。

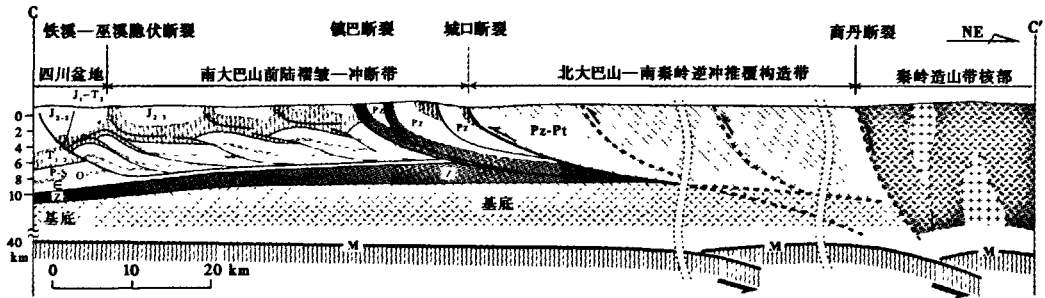


图5 南大巴山冲断带(西段)中新世代构造变形模式图(据李智武, 2006)

J_{2,3}. 中上侏罗统, J₁—T₃. 下侏罗统—上三叠统, T_{1,2}. 中下三叠统, P—S. 二叠系—志留系, O. 奥陶系, C. 寒武系, Z. 震旦系, Pz. 古生界, Pz—Pt. 古生界—元古宇, M. 莫霍面; 注:城口断裂以北部分,无比例尺意义,只作示意

Fig. 5 Tectonic and structural model of the southern Daba Mountain foreland thrust belt

南大巴山冲断带变形的总体强度特征是自北东向南西逐渐变弱。邻近主要断裂带的背斜构造抬升幅度高,出露地层老,完整性常受到破坏;远离断裂带的背斜构造褶皱幅度相对减弱,形态也比较完整(李智武, 2006)。除北东倾向断层外,还发育有与全区受力方向相反南西倾向的反冲断层。以镇巴断裂为界,可将南大巴山冲断带西段进一步划分为叠瓦断层带(Ⅱ₁)和滑脱褶皱带(Ⅱ₃)(图6)(李智武, 2006; 刘树根等, 2006)。叠瓦断层带主要由数条逆冲断层及夹持于其中的岩片组成;滑脱褶皱带地表构造以地层褶皱、地下以滑脱断层及逆冲断层为特点(李智武, 2006; 李智武等, 2006; 刘树根等, 2006)。

大巴山冲断带在米仓山构造带东侧总体表现为由北东向南西的前展式逆冲推覆及冲断构造,由北东的北大巴山逆冲推覆构造带经南大巴山前陆冲断带到四川盆地,变形

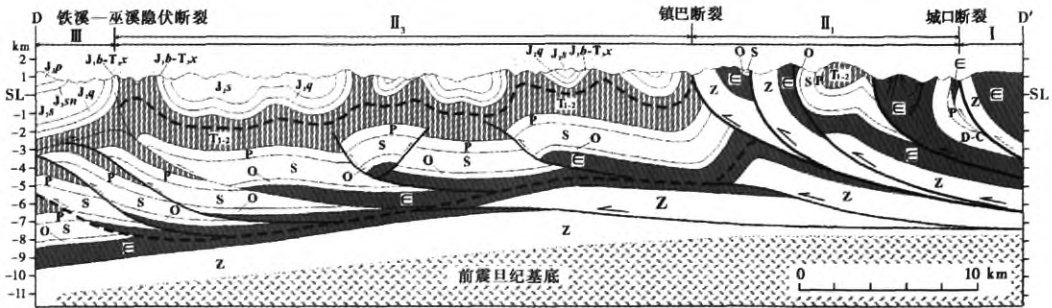


图6 南大巴山西段观音-朱元构造剖面图(据李智武, 2006)

I. 北大巴山逆冲推覆构造带; II. 南大巴山褶皱-冲断带; II₁. 叠瓦断层带; II₂. 滑脱褶皱带; III. 四川盆地; J_{3p}. 上侏罗统蓬莱镇组; J_{3sn}. 上侏罗统遂宁组; J_{2s}. 中侏罗统沙溪庙组; J_{2q}. 中侏罗统千佛崖组; J_{1b-T_{3x}}. 下侏罗统白田坝组—上三叠统须家河组; T_{1,2}. 中下三叠统; P. 二叠系; C—D. 石炭系—泥盆系; S. 志留系; O. 奥陶系; ε. 寒武系; Z. 震旦系

Fig. 6 Guanyin-Zhuyuan cross sections across the southern Daba Mountain thrust belt

强度逐渐减弱,反映了由北东向南西的递进扩展变形过程。

(3) 龙门山、大巴山三维结构组合特征

从龙门山陆内复合造山带的三维构造特征来看,主要构造形迹是走向北东—南西,倾向北西,且为北西向南东前展式扩展变形;而大巴山冲断带总体走向北西,倾向北东(米仓山东缘走向为北西西或者近南北,倾向北东东或者东),且为由北东向南西前展式扩展变形。这两大构造带在三维空间上组合成一个向北收敛、向南发散的“八”字型对冲构造——三角带构造(图7)。

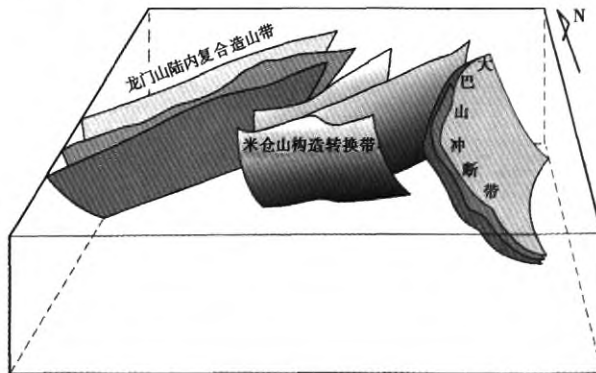


图7 龙门山、大巴山、米仓山三维结构示意图

Fig. 7 Three dimensional diagrammatic sketch of Longmen, Daba and Micang Mountains

米仓山构造带位于龙门山陆内复合造山带和大巴山冲断带之间(图7)。在龙门山陆内复合造山带中-新生代由北西向南东递进扩展变形及大巴山冲断带中生代晚期—新生代早期由北东向南西递进扩展变形的过程中,米仓山则充当了调节这两大构造带构造平衡的角色,而发生了一系列的构造变形,因此米仓山构造带实质上是一调节龙门山陆

内复合造山带及大巴山冲断带构造平衡的一个构造转换带。

3 米仓山构造转换带结构构造特征

米仓山构造转换带经历了多期构造地质作用,构造变形较为复杂,根据变形差异性可以分为基底隆起冲断带、南缘滑脱褶皱带及川北类前陆盆地平缓褶皱带 3 大构造单元(图 8)。

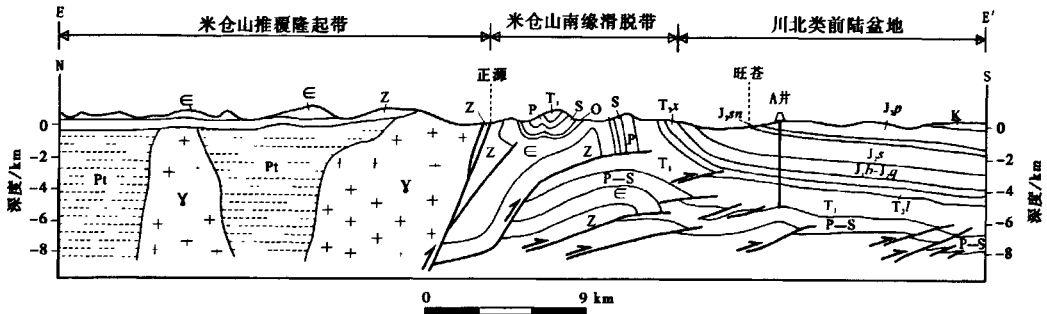


图 8 米仓山西段综合地震解释剖面(引自李岩峰, 2005)

K. 白垩系; J_{3p}. 上侏罗统蓬莱镇组; J_{3sn}. 上侏罗统遂宁组; J_{2s}. 中侏罗统沙溪庙组; J_{1b}-J_{2q}. 下侏罗统白田坝组-中侏罗统千佛崖组; T_{3x}. 上三叠统须家河组; T_{2l}. 中三叠统雷口坡组; T₁. 下三叠统; P. 二叠系; P-S. 二叠-志留系; S 志留系; O. 奥陶系; ε. 寒武系; Z. 震旦系; Pt. 元古宇变质岩系; γ. 晋宁期侵入岩

Fig. 8 The cross section by seismic interpretation in western Micang Mountain

3.1 基底隆起冲断带

该带与南侧的南缘滑脱褶皱带以正源—朱家坝断裂为界。对于该隆起的性质,有较多的观点和认识。有人认为米仓山是相对稳定的地块、台凸;魏显贵等(1997a, 1997b)、吴德超等(1998)认为该区中生代构造格局为一大型推覆构造,在东西方向上由北向南逆冲推覆构造的基础上,再次叠加了北东向的由北西向南东的推覆构造,前者属于东秦岭南翼巨型推覆构造的一部分,后者属于龙门山推覆构造的前缘影响地带,从而构成了特殊的叠加型推覆构造。

该带以元古宇结晶基底、变质基底出露,并发育数条大规模的逆冲断裂(图 2, 图 9a)。主要包括:⑥正源—朱家坝断裂;⑦峡口—上两断裂;⑧西乡—官坝—水磨断裂;⑨国华—槐树一牟家坝断裂。

米仓山基底隆起冲断带内发育的断裂主要为两个方向:1)东西走向的正源—朱家坝断裂,主要变形期为印支期;2)北东走向,包括峡口—上两断裂、西乡—官坝—水磨断裂和国华—槐树一牟家坝断裂,主要变形期为燕山晚期—喜马拉雅早期。

正源—朱家坝断裂 断裂西起正源,向东延伸到朱家坝(现今为前进)以东,全长约 120 km。断层总体走向东西,为东西向推覆构造的主推覆面。中段在西清一带被北东向推覆构造所截。断裂大部分断在基底与盖层间,部分发生在基底中。断裂东、西两端向南凸出,中段向北凸出,多处出现弧形弯转,这种构造实为推覆构造之“弓—箭”结构,是推覆构造典型样式(吴德超等, 1998)。断层总体倾向北,倾角 60°~70°,最大断距达 2

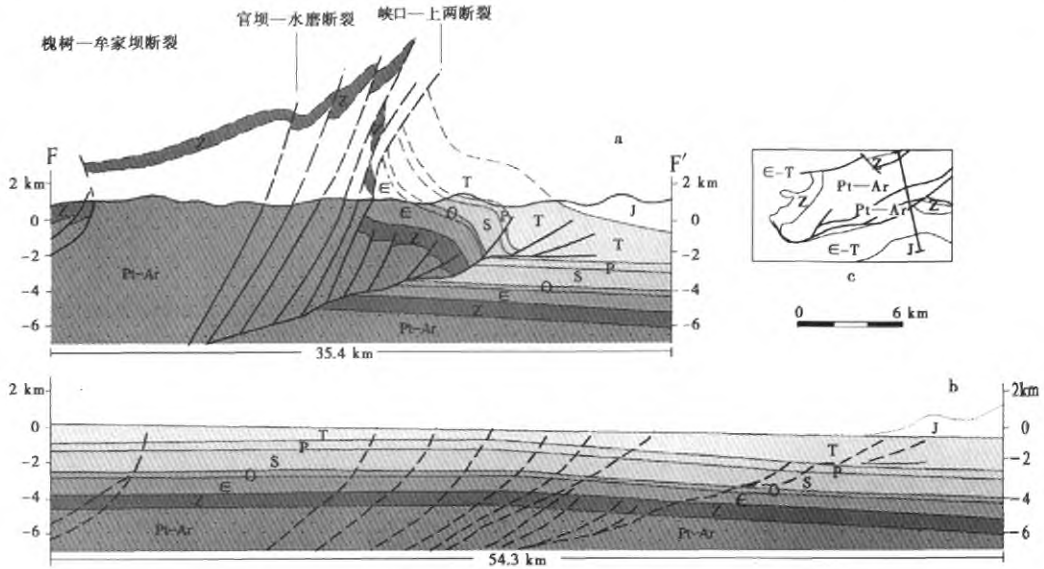


图9 米仓山北东向推覆构造变形剖面(南江五颗石—李子坪; a剖面引自魏显贵等, 1997b)
 a. 推覆构造剖面; b. 构造复原剖面; c. 剖面位置; J. 侏罗系; T. 三叠系; P. 二叠系; S. 志留系; O. 奥陶系;
 e. 寒武系; Z. 震旦系; Pt-Ar. 元古宇—太古宇

Fig. 9 Across Micang Mountain nappe structure deformation and balanced section

km, 断面不平直, 断层带宽度不等, 一般为几十米至数百米, 局部宽度达 1 km。断层总体表现为脆韧性逆冲性质。主滑面之上推覆—滑脱岩系变形强烈, 而下伏岩系变形微弱。

峡口—上两断裂 该断裂规模巨大, 西南段利用了早期的正源—朱家坝断裂再次活动, 北段经上两、麻柳湾一带向北东方向延伸, 在西河以北断续出露, 最终经峡口附近继续向北东方向延伸, 总长大于 150 km, 遥感影像上有清晰的显示。断层总体走向北东, 倾向北西, 倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 断层带宽数十米至数百米不等, 在不同地段切割不同地层。坪河以西, 断层利用早期的正源—朱家坝断层而复活, 将基底推覆在盖层之上; 在坪河—西河之间, 断层发育在基底之中; 西河以北发育在古生界沉积盖层之间。断层总体表现为脆韧性逆冲性质。

西乡—官坝—水磨断裂 该断裂西起阴坝子, 经水磨、官坝一线, 向北方向延伸至西乡, 全长约 150 km。断层整体走向北东, 倾向北西, 倾角 70° 左右, 断裂分支合并, 在不同地段两盘岩性差别较大, 以西河为界, 南段发育在基底中, 北段在盖层中断续出露, 向北延伸入汉南隆起内部。断层南段由多条次级断裂组成, 因此断层影响范围较宽, 断层总体表现为脆韧性逆冲性质。该断裂具有长期活动的历史, 区内的碱性岩带及有关矿床均受其控制, 并在后期发生脆性变形。

国华—槐树—牟家坝断裂 该断裂西起干河, 经濫柴坝、槐树、小坝一带, 向北东方向延伸到牟家坝以北, 全长大于 70 km。断层西段整体走向北东东, 但在槐树附近被一北西向断层右行错断近 5 km; 断层东段整体走向北北东, 倾向南东, 倾角 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$, 最大断距近 1 km。濫柴坝以东, 基底逆冲于盖层之上, 向西消失于盖层之中。

根据魏显贵等(1997b)绘制的推覆构造变形剖面,作者做了对应的构造复原剖面图(图9b),结果表明,米仓山基底隆起冲断带原始剖面长为54.3 km,现今构造剖面长为35.4 km,构造缩短量较大,达到了18.9 km,缩短率为34.9%。这与刘登忠等(1997)计算的米仓山西段盖层褶皱有限缩短应变为36%基本一致。

以上断裂向西延伸在正源以西均逐渐消失,地表则以一系列的褶皱发育为特征(图10)。

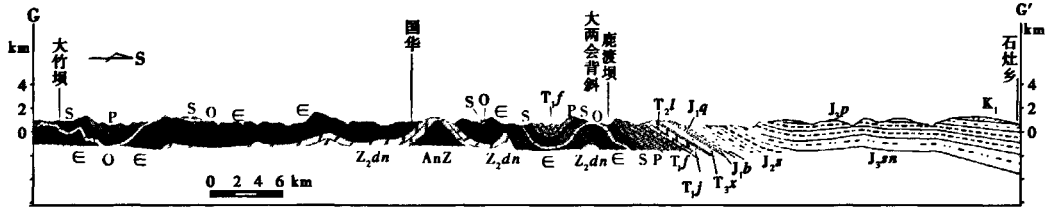


图10 旺苍—大竹坝构造剖面图

K₁: 下白垩统; J_{2p}: 上侏罗统蓬莱镇组; J_{2sn}: 上侏罗统遂宁组; J_{2s}: 中侏罗统沙溪庙组; J_{2q}: 中侏罗统千佛崖组; J_{1b}: 下侏罗统白田坝组; T_{3x}: 上三叠统须家河组; T_{2l}: 中三叠统雷口坡组; T_{2j}: 中三叠统嘉陵江组; T_{1j}: 下三叠统飞仙关组; P: 二叠系; S: 志留系; O: 奥陶系; ε: 寒武系; Z_{2dn}: 灯影组; AnZ: 前震旦系

Fig. 10 Structural section across Wangcang-Dazhuba

3.2 南缘滑脱褶皱带

位于正源—朱家坝断裂以南,南侧与川北类前陆盆地无明显界限,大致以广元—旺苍—南江一线为界(图2)。发育地层为震旦系—三叠系沉积盖层,主要在地表以一系列的褶皱缩短为特征(包括大两会背斜——图2背斜编号6、双汇—汉王山—楠木复式向斜——图2向斜编号5);地表以下形成一系列的隐伏逆冲构造及由逆冲断层扩展所形成的断展褶皱,古生界和下三叠统海相地层受逆冲断层错断,相互叠置,逆冲断裂向上多消失于非能干岩层中(包括寒武系页岩及中、下三叠统膏岩层),构成造山带前缘典型的被动顶板双重构造或三角带构造(李岩峰,2005)(图8,图11)。由于受多种因素控制,在东西方向及南北方向上构造样式均有不同,总的来说变形强度由北而南逐渐减弱。在西段曾家—吴家一带,盖层以滑脱—褶皱为主,晚期卷入了北东向滑脱变形(魏显贵等,1997a,1997b,吴德超等,1998)。

3.3 川北类前陆盆地平缓褶皱带

位于四川盆地北部,北以广元—旺苍—南江一线为界,郑荣才等(2009)认为四川盆地北部中生代盆地成因上虽然具有前陆盆地性质,但仍然有别于A型或B型俯冲带的前陆盆地,并将其称为类前陆盆地,本文采用郑荣才等(2009)的观点将米仓山南缘盆地区域称之为“川北类前陆盆地平缓褶皱带”。该带地表以平缓的褶皱发育为特征(图2,图8,图11)。主要发育3个方向的褶皱,东西走向、北东走向及北西走向(图2)。从褶皱的叠加情况来看,东西走向的褶皱将北东走向的褶皱限制在其北翼,因此东西走向的褶皱早于北东走向褶皱而形成;而北西走向的褶皱叠加于早期东西走向褶皱之上,因此北西走向褶皱也晚于东西走向的褶皱。

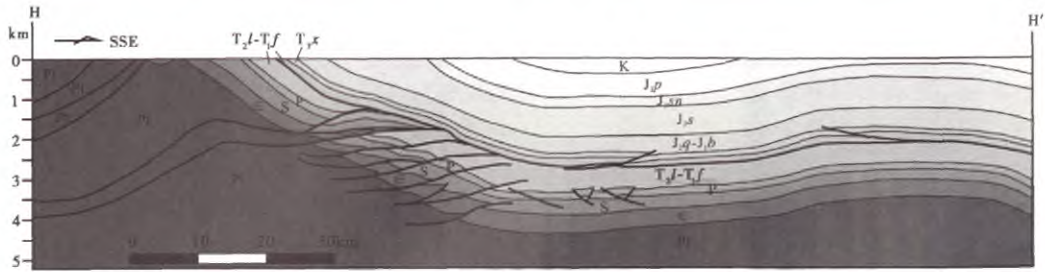


图 11 米仓山南缘 148 地震剖面

K. 白垩系; J_{3p}. 上侏罗统蓬萊镇组; J_{3sn}. 上侏罗统遂宁组; J_{2s}. 中侏罗统沙溪庙组; J_{2q}-J_{1b}. 中侏罗统千佛崖组-下侏罗统白田坝组; T_{3x}. 上三叠统须家河组; T_{2l}-T_{1f}. 中三叠统雷口坡组-下三叠统飞仙关组; P. 二叠系; S. 志留系; O. 奥陶系; ε. 寒武系; Pt. 元古宇

Fig. 11 Number 148 interpreting seismic profiles in south rim of Micang Mountain

剖面上看,该带的变形受控于明显的区域性滑脱层,在中变形层(寒武系—二叠系)内发育一系列向北缓倾的断层,向上消失于中-下三叠统膏岩层内,向下消失于下滑脱层寒武系页岩内(图 8,图 11,图 12a)。东西走向的褶皱在中生代地层中也较为发育,而东西走向的断层仅见中变形层发育(图 13),地表并未见到大量的东西走向的断层出露。而在上变形层(中三叠统以上),北东及北西走向的褶皱较为发育,且在通江一带,发育有北西走向的断层出露于地表,而近东西走向的断层基本消失(图 13),表明近东西走向的构造早于另外两组构造的形成,北东走向及北西走向的构造形成较晚,主要发生在近东西方向缩短的构造背景之下。

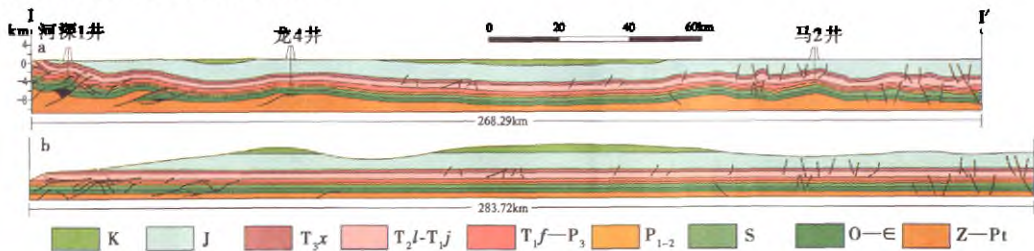


图 12 川北类前陆盆地东—西构造剖面及平衡剖面图(a. 据四川省石油管理局, 1988^①)

K. 白垩系; J. 侏罗系; T_{3x}. 上三叠统须家河组; T_{2l}-T_{1j}. 中三叠统雷口坡组-下三叠统嘉陵江组; T_{1f}-P₃. 下三叠统飞仙关组—上二叠统; P₁₋₂. 中下二叠统; S. 志留系; O—ε. 奥陶系—寒武系; Z—Pt. 震旦系—元古宇

Fig. 12 The structural and balanced cross section with the strike of E-W in north Sichuan para-foreland basin

根据川北类前陆盆地东—西地震剖面绘制的构造复原剖面显示,从西侧的龙门山陆内复合造山带前山断裂,经川北类前陆盆地,到南大巴山前缘的铁溪—巫溪隐伏断裂,原始长度约为 283.72 km,现今剖面长为 268.29 km,构造缩短量为 15.43 km,构造缩短率为 5.43%。从构造缩短率来看,米仓山基底隆起冲断带远大于南侧的川北类前陆盆地平

① 四川省石油管理局. 1988. 内部资料.

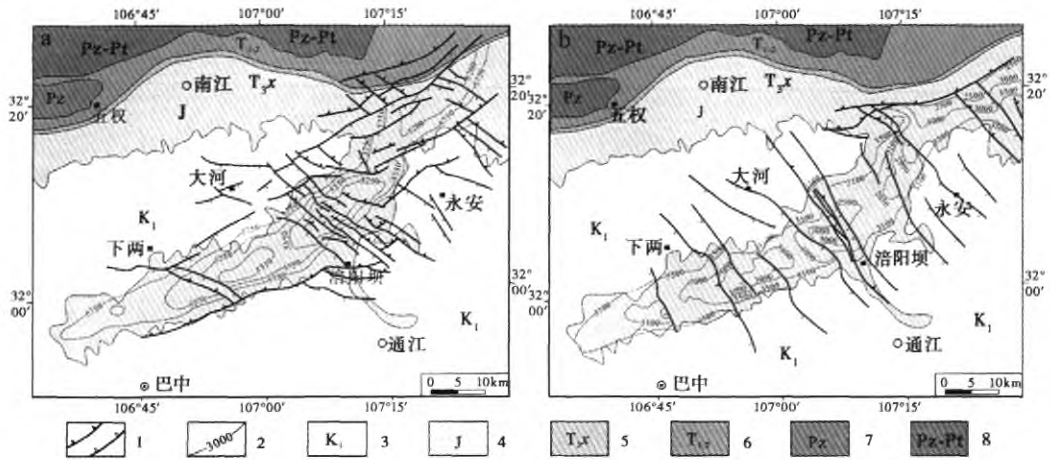


图 13 通南巴地区上二叠统(P_2)底构造(a)、须家河组(T_{3x})底构造(b)

与地表构造综合图(据李岩峰, 2005)

1. 逆冲断裂(三角上示盘,黑三角表示正向逆冲,空心三角示反向逆冲);
2. 构造等值线(值为负);
3. 下白垩统地层;
4. 侏罗系;
5. 须家河组地表出露带;
6. 中-下三叠统海相碳酸盐岩;
7. 古生界;
8. 古生界—元古宇

Fig. 13 The composite geological map by surface and subsurface structure in Tongnanba area

缓褶皱带。这可能与米仓山构造转换带两侧的造山带在空间上北窄南宽有很大的关系。

总体来看,米仓山构造转换带包含了印支期构造(主要为东西向构造)和燕山期—喜马拉雅期构造(北东向及北西向构造)。

4 米仓山构造转换带调节模式

米仓山构造转换带与前人研究的转换带有一定的相同点,但也有着其特殊性。因此,在研究构造转换带时,必须细致分析其与典型的转换带的差异性,进而寻找其共性。

4.1 米仓山构造转换带的特殊性

米仓山构造转换带经历了多期构造作用,形成了多组构造形迹。其中近东西走向的构造形迹的形成与印支期勉略洋的关闭、中国南北板块的碰撞有着密切的联系。在此次造山作用过程中,米仓山由于位于扬子板块向北凸出的被动大陆边缘,是一个应力及应变作用较强点,因此在板块碰撞过程中首先隆升,刚性的基底逐渐被抬升接近地表,沉积盖层也逐渐隆升,遭受剥蚀。

按照构造典型的构造转换带的观点(Gawthorpe and Hurst, 1993),米仓山位于两侧的龙门山陆内复合造山带及大巴山冲断带之间,两侧造山带均向米仓山逆冲,形成一个巨大的对冲构造(即 I 三角带构造),两侧造山带由于逆冲作用导致不断隆升,而相应的位于对冲构造中间的米仓山构造转换带则应该相对下降,利用垂向上的升降及横向上的缩短来调节构造平衡,从而会形成两侧造山带海拔高,而米仓山构造转换带海拔相对较低的地形地貌格局。但现今地形分析表明,西侧的龙门山陆内复合造山带海拔多在 1 000 ~ 4 000 m 之间,平均海拔在 2 500 m 以上;米仓山构造转换带海拔多在 1 000 ~

2 000 m 之间,平均海拔在 1 500 m 左右;大巴山冲断带海拔多在 1 000 ~ 2 000 m 之间,平均可能低于 1 500 m;川北类前陆盆地海拔多在 500 ~ 1 000 m (图 14)。米仓山构造转换带北部的基底隆起区并没有明显的低于其东侧的大巴山冲断带,相反却高于其东侧的大巴山前陆冲断带西段的海拔,这与典型的对冲型构造转换带地形存在明显差异。川北类前陆盆地的海拔基本低于两侧的造山带海拔,与典型的对冲构造形成地貌基本一致。

这种差别的存在并非说明米仓山构造带就不是转换带,前面提及在印支期的板块碰撞过程中米仓山构造转换带北部的刚性基底的抬升,也许是这一现象的最好解释,它是具有先存构造的、特殊的转换带。

4.2 垂向隆升—横向缩短构造调节模式

龙门山陆内复合造山带及大巴山冲断带均是由后陆向前陆逐渐推进的前展式扩展变形,其主体构造的变形开始于印支期,在燕山期及喜马拉雅期逐渐向盆地扩展(罗志立等, 1992; 林茂炳, 1994; 乐光禹, 1998; 李智武, 2006; 刘树根等, 2006, 2009; 沈传波, 2008; 程万强等, 2009)。印支期过后,米仓山构造转换带北部基底已经隆升,作为一个刚性块体夹于龙门山陆内复合造山带及大巴山冲断带之间。龙门山陆内复合造山带及大巴山冲断带向米仓山扩展变形受到米仓山刚性基底的制约,刚性基底的米仓山构造转换带则必然会以一种不同于常规——褶皱缩短及差异下降来调节两侧造山带的挤压构造平衡。

刚性的米仓山基底在受到来自北西方向的龙门山陆内复合造山带及近东西方向的南大巴山前陆冲断带的挤压,已经不能以简单的褶皱缩短来调节构造平衡。而是通过一系列脆性破裂的断裂作用来达到东西方向的缩短而调节构造平衡目的。纵观米仓山构造转换带的内部构造,除了发育有印支期东西走向的正源—朱家坝断裂之外,还发育了一系列的北东走向的燕山期—喜马拉雅期断裂,包括峡口—上两断裂、西乡—官坝—水磨断裂和国华—槐树一牟家坝断裂。北东走向断裂构造的运动学特征表明,其均为逆冲断层(魏显贵等, 1997a, 1997b; 吴德超等, 1998)。各断裂的上盘(北西盘)均向南东方向逆冲,导致米仓山构造带不断被抬升,海拔升高,而在北西—南东(近东西)方向上却以不断缩短的方式,调节来自米仓山构造转换带两侧的造山带的挤压构造平衡。米仓山海拔高度不低于两侧造山带的主要原因就在于米仓山构造转换带不是以差异下降调节构造缩短,而相反则是以垂向上的隆升、横向缩短来调节构造平衡。

4.3 盆—山构造调节模式的差异性

相比米仓山基底隆起带,米仓山南侧的川北类前陆盆地平缓褶皱带的海拔则较两侧造山带低的多(图 14),与典型的构造转换带的地貌基本一致,但却与米仓山基底隆起带呈现出完全不同的构造特征。这一现象的差别可能预示着川北类前陆盆地平缓褶皱带的调节模式与北侧的基底隆起带存在着差异。同时,对冲型构造转换带,相应的米仓山按正常调节模式将会下降(Gawthorpe and Hurst, 1993),接受中新生代沉积,而在米仓山基底隆起冲断带上未见到中新生代地层,而在南侧的川北类前陆盆地中该套地层则较为

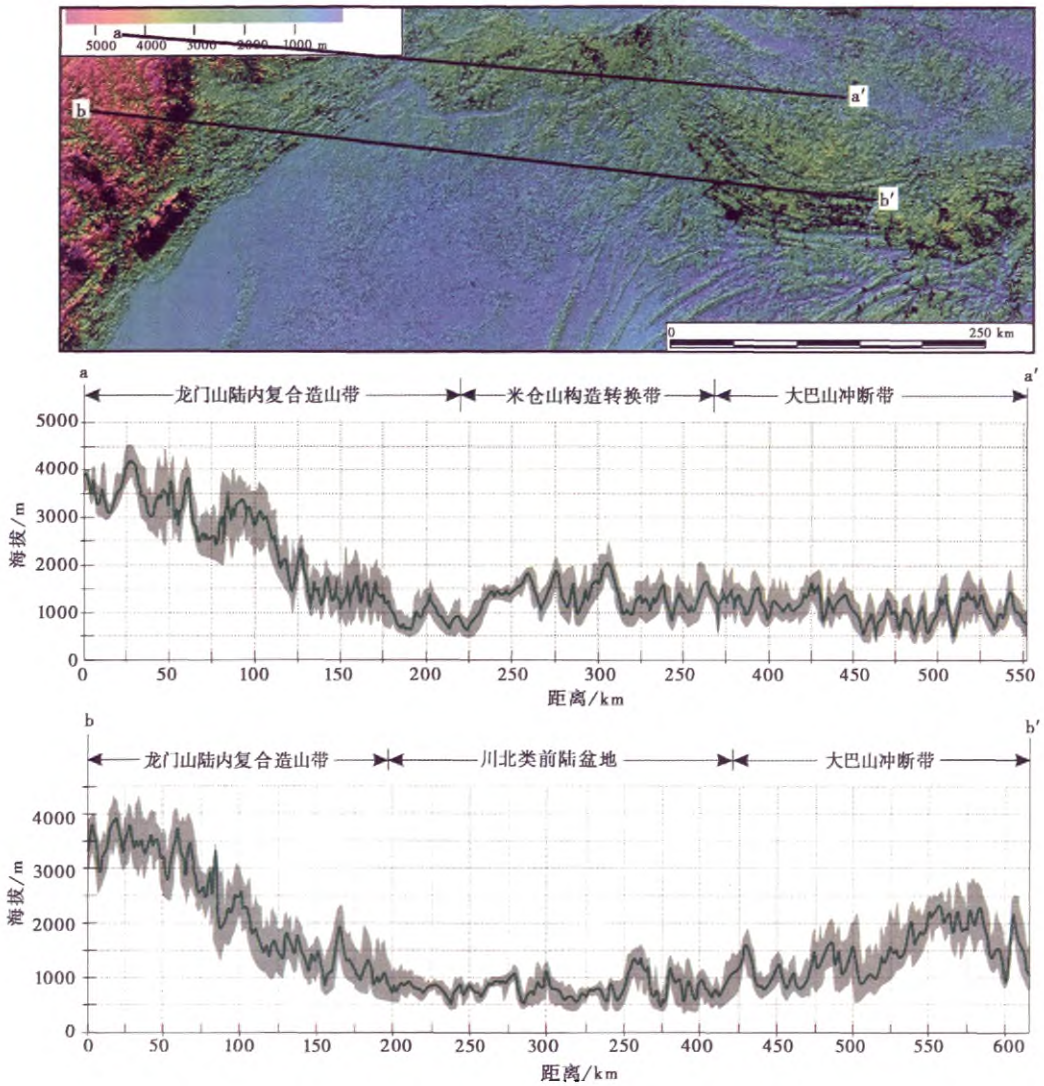


图 14 米仓山、龙门山和大巴山构造带地形剖面图

Fig. 14 Topography cross section across Micang, Longmen and Daba Mountains

发育(图 9a,图 12a)。

中、下三叠统膏岩层为米仓山构造转换带两侧造山带的重要性滑脱层,两侧造山带向盆内的扩展变形均受控于该层的滑脱变形(李智武, 2006; 刘树根等, 2006, 2009)。而在川北类前陆盆地平缓褶皱带中,位于该滑脱层之上,两侧造山带之间的地层为中生代陆相沉积盖层,该套地层与米仓山基底隆起冲断带的刚性基地在岩石的物理性质上存在明显的差异性,相比而言,该套地层显然更容易发生褶皱。因此,从现在的构造特征上来看,川北类前陆盆地平缓褶皱带主要是发育了一系列的北东走向(编号 9~12)及北西走向的褶皱(编号 15~17)(图 2),仅在通江一带发育了北西走向的断层,这些构造的发

育总体使得川北类前陆盆地平缓褶皱带在东西方向上,发生了缩短,而并没有垂向上的大量抬升,相反垂向上则是相对下降,接受白垩系沉积,从而达到了调节两侧造山带向盆内扩展的构造平衡的目的。同时,龙门山陆内复合造山带及大巴山冲断带在平面上显示了向北收敛,向南发散的“八”字形构造,米仓山构造转换带北部基底隆起冲断带横向距离(龙门山陆内复合造山带与大巴山前陆冲断带之间)要远小于南侧的川北类前陆盆地平缓褶皱带,从构造缩短量来看,北部基底隆起冲断带为 18.9 km,南侧的川北类前陆盆地平缓褶皱带为 15.43 km,北侧也略大于南侧,在构造缩短率方面,由于南侧的川北类前陆盆地平缓褶皱带横向距离较大,因此其缩短率相应较小,因而南侧的盆地变形相对较弱,以平缓的褶皱变形为主。

从以上的分析可以看出,岩石的物理性质及先存的基底隆起是导致其变形差异性的主因,构造缩短量及缩短率是其次原因。米仓山基底隆起冲断带,由于其岩石的刚性,主要是发育脆性的断裂作用,通过垂向上的抬升,横向上的缩短调节了构造平衡。而川北类前陆盆地平缓褶皱带,岩石能干性较基底岩石弱,主要是通过北东走向及北西走向的褶皱作用、少量的北西走向的断层作用以及垂向上相对下降,横向缩短调节来自两侧造山带的构造平衡。

5 结 论

由上可知,米仓山构造带具有以下的一些性质:1)米仓山构造带具有调节龙门山陆内复合造山带及大巴山冲断带构造平衡的特殊构造转换带。在平面上表现为“八”字形构造;在三维空间上,表现为背倾型—巨大的对冲构造(I型三角带构造)。2)米仓山构造转换带在调节构造平衡的模式上与典型的构造转换带存在明显的差异,这是由先存构造的刚性基底抬升所致。3)米仓山构造转换带南北两大构造单元调节模式的差异性是由于其岩石的物理性质所决定,同时构造缩短量及缩短率是次因。北侧基底隆起冲断带主要是通过断层的逆冲作用,垂向上的抬升,横向上的缩短来调节构造平衡;南侧川北类前陆盆地平缓褶皱带,主要是通过北东走向及北西走向的褶皱作用、少量的北西走向的断层作用及垂向上相对下降,横向缩短调节来自两侧造山带的构造平衡。

参 考 文 献

- 程万强,杨坤光. 2009. 大巴山构造演化的石英 ESR 年代学研究. *地学前缘*, 16(3): 197—206.
- Cheng Wanqiang and Yang Kunguang. 2009. Structural evolution of Dabashan Mountain: Evidence from ESR datin. *Earth Science Frontiers*, 16(3): 197—206.
- 林茂炳. 1994. 初论龙门山推覆构造带的基本结构样式. *成都理工学院学报*, 21(3): 1—7.
- Lin Maobing. 1994. A discussion on the basic textural style of the nappe tectonic belt in Longmen Mountains. *Journal of Chengdu University of Technology*, 21(3): 1—7.
- 刘剑平,汪新文,周章保,陶国强,文绵良. 2000. 伸展地区变换构造研究进展. *地质科技情报*, 19(3): 27—32.
- Liu Jianping, Wang Xinwen, Zhou Zhangbao, Tao Guoqiang and Wen Mianliang. 2000. Research advance in transition structure in extended region. *Geological Science and Technology Information*, 19(3): 27—32.
- 刘树根,李智武,刘 顺,罗玉宏,徐国强,龚昌明,雍自权. 2006. 大巴山前陆盆地—冲断带的形成演化. 北京:地质出版社. 47—70.
- Liu Shugen, Li Zhiwu, Liu Shun, Luo Yuhong, Xu Guoqiang, Gong Changming and Yong Ziquan. 2006. Dabashan Foreland

- Basin-Thrust Belt Formation and Evolution. Beijing: Geological Publishing House. 47—70.
- 刘树根,李智武,曹俊兴,刘 顺,邓 宾,王国芝,邓 斌. 2009. 龙门山陆内复合造山带的四维结构构造特征. 地质科学, 44(4): 1151—1180.
- Liu Shugen, Li Zhiwu, Cao Junxing, Liu Shun, Deng Bin, Wang Cuozi and Deng Bin. 2009. 4-D textural and structural characteristic of Longmen intracontinental composite orogenic belt, southwest China. *Chinese Journal of Geology*, 44(4): 1151—1180.
- 罗志立,龙学明. 1992. 龙门山造山带崛起和川西陆前盆地的沉降. 四川地质学报, 12(1): 1—17.
- Luo Zhili and Long Xueming. 1992. The uplifting of Longmenshan orogenic zone and the subsidence of the west Sichuan foreland basin. *Acta Geologica Sichuan*, 12(1): 1—17.
- 李智武,刘树根,罗玉宏,刘 顺,徐国强. 2006. 南大巴山前陆冲断带构造样式及变形机制分析. 大地构造与成矿学, 30(3): 294—304.
- Li Zhiwu, Liu Shugen, Luo Yuhong, Liu Shun and Xu Guoqiang. 2006. Structural style and deformational mechanism of southern Dabashan foreland fold-thrust belt in central China. *Geotectonica et Metallogenia*, 30(3): 294—304.
- 李智武. 2006. 中-新生代大巴山前陆盆地—冲断带的形成演化(博士论文). 成都: 成都理工大学. 50—70.
- Li Zhiwu. 2006. Meso-Cenozoic Evolution of Dabashan Foreland Basin-Thrust Belt, Central China (PhD Dissertation). Chengdu: Chengdu University of Technology. 50—70.
- 李岩峰. 2005. 四川盆地东北部中-新生代造山与前陆变形构造叠合关系研究(博士论文). 北京: 中国地震局地质研究所. 59—65.
- Li Yanfeng. 2005. Mesozoic-Cenozoic Superimposed Orogeny and Foreland Deformation in the Northeastern Sichuan Basin (PhD Dissertation). Beijing: Institute of Geology, China Earthquake Administration. 59—65.
- 宁 飞,汤良杰,朱传玲,何春波,张 钰,王鹏昊,陈 群. 2009. 挤压区局部构造转换带类型及石油地质意义. 现代地质, 23(3): 394—400.
- Ning Fei, Tang Liangjie, Zhu Chuanling, He Chunbo, Zhang Yu, Wang Penghao and Chen Qun. 2009. Types of structural transfer zone in compressional area and its significance of petroleum geology. *Geoscience*, 23(3): 394—400.
- 沈传波,梅廉夫,汤济广,吴 敏. 2008. 大巴山逆冲推覆带构造扩展变形的年代学制约. 原子能科学技术, 42(6): 574—576.
- Shea Chuanbo, Mei Lianfu, Tang Jiguang and Wu Min. 2008. Geochronology evidences for tectonic deformation of Dabashan fold-thrust belt in central China. *Atomic Energy Science and Technology*, 42(6): 574—576.
- 魏显贵,杜思清,何政伟,刘援朝,吴德超. 1997a. 米仓山地区构造演化. 矿物岩石, 17(增刊): 107—113.
- Wei Xiangui, Du Siqing, He Zhengwei, Liu Yuanchao and Wu Dechao. 1997a. The tectonic evolution of Micangshan area. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 17(suppl.): 107—113.
- 魏显贵,杜思清,刘援朝,吴德超. 1997b. 米仓山推覆构造的结构样式及演化特征. 矿物岩石, 17(增刊): 114—122.
- Wei Xiangui, Du Siqing, Liu Yuanchao and Wu Dechao. 1997b. Tectonic styles and evolution of Micangshan nappe tectonics. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 17(suppl.): 114—122.
- 吴德超,魏显贵,杜思清,刘援朝,邓明森,何政伟. 1998. 米仓山叠加型推覆构造几何结构及演化. 矿物岩石, 18(增刊): 16—20.
- Wu Dechao, Wei Xiangui, Du Shiqing, Liu Yuanchao, Deng Mingsen and He Zhengwei. 1998. The geometrical texture and structural evolution of Micangshan superposed nappe structure. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 18(suppl.): 16—20.
- 刘登忠,魏显贵,杜思清,徐新焯. 1997. 米仓山西段地质研究新进展. 矿物岩石, 17(增刊): 1—8.
- Liu Dengzhong, Wei Xiangui, Du Siqing and Xu Xinhao. 1997. Advance of geologic study in western of Micangshan area. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 17(suppl.): 1—8.
- 燕守勋,蔺启忠,黄晓霞,王志刚,孟宪刚. 1997. 谈调整构造. 地质科学, 32(2): 146—155.
- Yan Shouxun, Lin Qizhong, Huang Xiaoxia, Wang Zhigang and Meng Xiangang. 1997. On adjustment structure. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 32(2): 146—155.
- 乐光禹. 1998. 大巴山造山带及其前陆盆地的构造特征和构造演化. 矿物岩石, 18(增刊): 8—15.
- Yue Guangyu. 1998. Tectonic characteristics and tectonic evolution of Dabashan orogenic belt and its foreland basin. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 18(suppl.): 8—15.
- 张国伟,孟庆任,于在平,孙 勇,周鼎武,郭安林. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学(D辑), 26

(3): 193—200.

- Zhang Guowei, Meng Qingren, Yu Zaiping, Sun Yong, Zhou Dingwu and Guo Anlin. 1996. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen. *Science in China (Series D)*, **29**(3): 225—234.
- 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 郭安林, 孟庆任, 刘少峰, 程顺有, 姚安平, 张宗清, 裴先治, 李三忠. 2003. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带. *中国科学(D辑)*, **33**(12): 1121—1134.
- Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Lai Shaocong, Guo Anlin, Meng Qingren, Liu Shaofeng, Cheng Shunyou, Yao Anping, Zhang Zongqing, Pei Xianzhi and Li Sanzhong. 2003. Mianlüe tectonic zone and Mianlüe suture zone on southern margin of Qinling-Dabie orogenic belt. *Science in China (Series D)*, **47**(4): 300—316.
- 张国伟, 程顺有, 郭安林, 董云鹏, 赖绍聪, 姚安平. 2004. 秦岭—大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识. *地质通报*, **23**(9): 846—853.
- Zhang Guowei, Cheng Shunyou, Guo Anlin, Dong Yunpeng, Lai Shaocong and Yao Anping. 2004. Mianlue paleo-suture on the southern margin of the central orogenic system in Qinling-Dabie with a discussion of the assembly of the main part of the continent of China. *Geological Bulletin of China*, **23**(9): 846—853.
- 张家声, 黄雄南, 牛向龙, 刘峰. 2010. 川主寺—黄龙左行走滑剪切断层和松潘—平武剪切转换构造体制. *地学前缘*, **17**(4): 15—32.
- Zhang Jiasheng, Huang Xiongnan, Niu Xianglong and Liu Feng. 2010. Chuanzhusi-Huanglong strike-slip faults and a transpressional shear system in Songpan-Pingwu area, northwestern Sichuan, China. *Earth Science Frontiers*, **17**(4): 15—32.
- 赵红格, 刘池阳, 杨明慧, 王定一. 2000. 调节带和转换带及其在伸展区的分段作用. *世界地质*, **19**(2): 105—111.
- Zhao Hongge, Liu Chiyang, Yang Minghui and Wang Dingyi. 2000. Accommodation zones and transfer zones and their roles in the segmentation of the extended terranes. *World Geology*, **19**(2): 105—111.
- 郑荣才, 戴朝成, 朱如凯, 翟文亮, 高红灿, 耿威. 2009. 四川类前陆盆地须家河组层序—岩相古地理特征. *地质论评*, **55**(4): 484—495.
- Zheng Rongcai, Dai Chaocheng, Zhu Rukai, Zhai Wenliang, Gao Hongcan and Geng Wei. 2009. Sequence-based lithofacies and paleogeographic characteristics of Upper Triassic Xujiahe Formation in Sichuan Basin. *Geological Review*, **55**(4): 484—495.
- Dahlstrom C D A. 1970. Structural geology in the eastern margin of the Canadian rocky mountain. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, **18**(3): 332—406.
- Davis K, Burbanka D W, Fisher D, Wallacec S and Nobes D. 2005. Thrust-fault growth and segment linkage in the active Ostler fault zone, New Zealand. *Journal of Structural Geology*, **27**(8): 1528—1546.
- Gawthorpe R L and Hurst J M. 1993. Transfer zones in extensional basins: Their structural style and influence on drainage development and stratigraphy. *Journal of the Geological Society*, **150**(6): 1137—1152.
- Higgins S, Davies R J and Clarke B. 2007. Antithetic fault linkages in a deep water fold and thrust belt. *Journal of Structural Geology*, **29**(12): 1900—1914.
- Huggins P, Waiterson J, Walsh J J and Childs C. 1995. Relay zone geometry and displacement transfer between normal faults recorded in coal-mine plans. *Journal of Structural Geology*, **17**(12): 1741—1755.
- Jin W Z, Tang L G, Yang K M, Wan G M and Lü Z Z. 2010. Segmentation of the Longmen Mountains thrust belt, western Sichuan foreland basin, SW China. *Tectonophysics*, **485**(1—4): 107—121.
- Kornsawan A and Morley C K. 2002. The origin and evolution of complex transfer zones (graben shifts) in conjugate fault systems around the Funan field, Pattani Basin, Gulf of Thailand. *Journal of Structural Geology*, **24**(3): 435—449.
- Mack G H and Seager W R. 1995. Transfer zones in the southern Rio Grande rift. *Journal of the Geological Society*, **152**(3): 551—560.
- Meng Q R and Zhang G W. 1999. Timing of collision of the north and south China blocks: Controversy and reconciliation. *Geology*, **27**(2): 123—126.
- Meng Q R and Zhang G W. 2000. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, central China. *Tectonophysics*, **323**(3—4): 183—196.
- Morewood N C and Roberts G P. 2000. The geometry, kinematics and rates of deformation within an echelon normal fault segment boundary, central Italy. *Journal of Structural Geology*, **22**(8): 1027—1047.
- Morley C K, Nelson R A, Patton T L and Munn S C. 1990. Transfer zones in the east African rift system and their relevance to

- hydrocarbon exploration in rifts. *AAPG Bulletin*, **74**(8): 1234—1253.
- Moustafa A R. 1997. Controls on the development and evolution of transfer zones: The influence of basement structure and sedimentary thickness in the Suez rift and Red Sea. *Journal of Structural Geology*, **19**(6): 755—768.
- Moustafa A R. 2002. Controls on the geometry of transfer zones in the Suez rift and northwest Red Sea: Implications for the structural geometry of rift systems. *AAPG Bulletin*, **86**(6): 979—1002.
- Nicol A, Gillespie P A, Childs C and Walsh J J. 2002. Relay zones between mesoscopic thrust faults in layered sedimentary sequences. *Journal of Structural Geology*, **24**(4): 709—727.
- Peacock D C P and Sanderson D J. 1995. Strike-slip relay ramps. *Journal of Structural Geology*, **17**(10): 1351—1360.
- Peacock D C P. 2003. Scaling of transfer zones in the British Isles. *Journal of Structural Geology*, **25**(10): 1561—1567.
- Quintana L, Alonso J L, Pulgar J A and Rodriguez-Fernández L R. 2006. Transpressional inversion in an extensional transfer zone (the Saltacaballos fault, northern Spain). *Journal of Structural Geology*, **28**(11): 2038—2048.
- Thomas W A and Bayona G. 2002. Palinspastic restoration of the Anniston transverse zone in the Appalachian thrust belt, Alabama. *Journal of Structural Geology*, **24**(4): 797—826.

The characteristic and transfer model of Micang Mountain structural transfer zone

Sun Dong^{1,2} Liu Shugen² Li Zhiwu² Sun Wei² Deng Bin² Zhong Yong² Li Jinxi²

(1. Chengdu Center of Hydrogeology and Engineering Geology, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and development, Chengdu 610081; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract

Micang Mountain structure belt, locating between the NE-striking Longmen Mountain intracontinental composite orogenic belt and the NW-striking Daba Mountain foreland-thrust belt, forms a triangle structural zone, like Chinese eight, which is converge to north and diverge to south. Micang Mountain structure belt plays as an important structural transfer zone in adjusting structural balance between the Longmen Mountains intracontinental composite orogenic belt and the Daba Mountain foreland-thrust belt in the process of piggy-back deformation. Micang Mountain structural transfer zone can be divided to basement thrust-uplift zone, detachment deformation zone, northern Sichuan para-foreland zone, from north to south. Due to basement rock rigidity, basement thrust-uplift zone and northern Sichuan para-foreland zone have marked disparity in the process of adjusting structural balance. Brittle faults mainly took place at the basement thrust-uplift zone with the way of vertical uplift and horizontal contract to adjust structural balance. While northern Sichuan para-foreland zone, with weakly competent rock, mostly formed NW-and NW-striking folds and faults to adjust structural balance. Our research on structural feature of the Micang Mountain shows that, physical character of basement rock and pre-exist basement structure are the first-order factor of deformation diversity, and structure shrinkage and the contract ratio are subordination factor.

Key Words Structural transfer zone, Transfer model, Micang Mountain, Longmen Mountain, Daba Mountain