

# 龙门山逆冲推覆作用的地层标识

李 勇 曾允孚  
(成都理工学院沉积地质矿产研究所)

**【摘要】**文章详细论述了龙门山前陆盆地充填地层中所记录的能反映龙门山冲断带逆冲推覆作用的地层标识。根据地层标识,并结合龙门山冲断带构造分带、主干断裂与地层切割关系,以及岩浆岩和变质岩年龄频谱,将龙门山冲断带自诺利克期以来的逆冲推覆作用分为6个逆冲推覆构造幕和11个逆冲推覆构造事件。龙门山冲断带逆冲推覆作用在时间上具多幕性和周期性,在空间上具前展式渐进推覆的特点,逆冲推覆作用的强度具有由北东向南西迁移的特点,并具左旋剪切的特征。

**关键词** 逆冲推覆作用,地层标识,前陆盆地,龙门山  
**中图分类号** P53

## 1 龙门山逆冲推覆作用的地层标识

### 1.1 地层不整合面的层位和性质

地层不整合面不仅是龙门山前陆盆地沉积记录中最重要地质特征之一,而且是分割盆地充填序列的界面(李勇、曾允孚,1994b)。龙门山前陆盆地中地层不整合面有两类,一类为角度不整合面(包括微角度不整合面),属于水平挤压型构造、侵蚀不整合面;另一类为平行不整合面,属于水平挤压、抬升型构造、侵蚀不整合面。这些地层不整合面主要分布于盆地西缘,一般向盆内过渡为整合面,并在地震反射剖面上有良好的响应。根据龙门山逆冲推覆作用的沉积响应模式(李勇、曾允孚,1994a)和地层不整合面分布的具体特点,龙门山前陆盆地中每一个地层不整合面应是龙门山冲断带一次逆冲推覆事件的沉积响应和地层标识。因此仅根据龙门山前陆盆地充填序列中不整合面的层位和性质(表1),至少可以确定龙门山冲断带自晚三叠世诺利克期以来存在9次逆冲推覆事件(表1)。

### 1.2 巨型旋回层——构造层序和层序

龙门山前陆盆地充填序列中另一个最大特点是地层呈旋回式沉积,其中以不整合面为界的旋回层为构造层序和层序。构造层序为巨型旋回层,并可分为A型构造层序(进积型构造层序)和B型构造层序(退积型构造层序),厚度为1000~3000 m,持续时间为1~79 Ma;层序为大型旋回层,厚度为几百至千余米,持续时间最长达41 Ma。它们分别是受天体活动控制的气

候变化周期(0.23~0.4 Ma)的几十倍至几百倍,显然周期性气候变化不能解释这些旋回层的成因,而且这些旋回层主要由陆相地层构成,同样也不能用海平面升降来解释它们的成因。从这些旋回层的时空规模以及它们主要分布于紧靠龙门山冲断带的盆地西缘,并伴随着不整合面和巨厚砾质楔状体的出现,说明它们只能与龙门山冲断带构造活动的脉动性有关。根据龙门山逆冲推覆作用的沉积响应模式(李勇、曾允孚,1994a)和龙门山前陆盆地充填序列中构造层序和层序的时空分布规模和特征(李勇、曾允孚,1994b),我们将构造层序作为龙门山逆冲推覆幕的沉积响应,是一个成盆期的充填实体;将层序作为龙门山逆冲推覆事件的沉积响应,是一个成盆期不同演化阶段的充填实体(表2)。根据龙门山前陆盆地充填序列中所存在的6个构造层序,我们将龙门山冲断带自诺利克期以来的逆冲推覆活动分为6个逆冲推覆幕(表1);其中构造层序 I (A型构造层序)是龙门山冲断带雏形时的沉积响应;构造层序 I~VI 是龙门山冲断带中晚期冲断、抬升作用的沉积响应。并根据层序将龙门山冲断带的逆冲推覆活动至少划分为11个逆冲推覆事件(表1)。

表1 龙门山冲断带逆冲推覆期次及地层标识

Table 1 Stratigraphic signatures to thrusting events in the Longmen Mountains thrust belt

龙门山逆冲推覆期次		地层标识						年龄(Ma)	地质年代
幕	事件	不整合面	构造层序	层序	粗碎屑楔状体	沉降速率	前陆隆起迁移		
TN <sub>6</sub>	TN <sub>6</sub> <sup>2</sup>	T <sub>F</sub> <sup>1</sup>	VI	VI <sub>3</sub>		0.3mm/a	龙泉山隆起	Q <sub>3-4</sub>	
				VI <sub>2</sub>				Q <sub>2</sub>	
	TN <sub>6</sub> <sup>1</sup>	T <sub>F</sub>		VI <sub>1</sub>				Q <sub>1</sub>	
TN <sub>5</sub>	TN <sub>5</sub> <sup>3</sup>	T <sub>E</sub>	V	V <sub>4</sub>		0.08mm/a	龙泉山隆起	K <sub>2</sub> -E	
				V <sub>3</sub>					
	TN <sub>5</sub> <sup>2</sup>	V <sub>2</sub>							
	TN <sub>5</sub> <sup>1</sup>	V <sub>1</sub>			0.02mm/a				
TN <sub>4</sub>	TN <sub>4</sub> <sup>2</sup>	T <sub>D</sub> <sup>1</sup>	IV	IV <sub>2</sub>		0.06mm/a	龙泉山隆起形成	145	
	TN <sub>4</sub> <sup>1</sup>	T <sub>D</sub>		IV <sub>1</sub>		0.15mm/a			157
TN <sub>3</sub>	TN <sub>3</sub> <sup>2</sup>	T <sub>C</sub> <sup>1</sup>	III	III <sub>2</sub>		0.02mm/a	自贡-乐山隆起	J <sub>1-2</sub>	
TN <sub>2</sub>	TN <sub>2</sub> <sup>1</sup>	T <sub>C</sub>	II	II <sub>1</sub>		1.6mm/a	开江-泸州隆起	208	
	TN <sub>2</sub> <sup>2</sup>	T <sub>B</sub>		II <sub>2</sub>		0.15mm/a		209	
TN <sub>1</sub>	TN <sub>1</sub> <sup>2</sup>	T <sub>A</sub>	I	I <sub>2</sub>		0.15mm/a	开江-泸州隆起	T <sub>3</sub> <sup>3</sup>	
	TN <sub>1</sub> <sup>1</sup>			I <sub>1</sub>				223	T <sub>3</sub> <sup>2</sup>

### 1.3 砾质粗碎屑楔状体的层位和侧向迁移

龙门山前陆盆地充填序列的第三个特征就是其西缘发育数量众多的砾质粗碎屑楔状体,并具周期性出现的特点。根据龙门山逆冲推覆作用的沉积响应模式(李勇、曾允孚,1994a),龙门山冲断带是龙门山前陆盆地的主要物源区,它的逆冲推覆作用直接控制着龙门山前陆盆地沉积物类型和沉积物供给量;冲断带每次逆冲推覆作用均可导致在前陆盆地中形成相应的粗碎屑楔状体,显然粗碎屑楔状体也是龙门山冲断带逆冲推覆作用的地层标识。根据龙门山前陆

盆地西缘砾质楔状体的层位和侧向迁移(图 1), 可获如下认识:

表 2 龙门山冲断带各级逆冲推覆事件及其地层标识

Table 2 The thrusting ranks of the Longmen Mountains thrust belt and their stratigraphic signatures

逆冲推覆构造事件级别	主要地层标识	辅助性地层标识	时间分布 (Ma)	起 因
一级	盆地充填序列		>200	冲断带形成和发展所导致的挠曲负载
二级 (逆冲推覆幕)	构造层序	1. 地层不整合面 2. 盆地构造沉降速率明显变化 3. 巨厚砾质粗碎屑楔状体及侧向迁移 4. 前陆盆地宽度变化和结构变化 5. 前陆隆起幅度变化及侧向迁移 6. 沉降中心迁移 7. 沉积体系配置模式和古流向体系改组	1~50	由不同逆冲推覆幕导致构造负载增加, 前陆盆地构造沉降速率和沉积物供给速率发生变化, 并产生新的成盆期
三级 (逆冲推覆事件)	层 序	1. 地层不整合面及沉积间断面 2. 砾质粗碎屑楔状体出现 3. 盆地构造沉降速率变化	1~20	由次级逆冲推覆事件导致的构造负载增加, 前陆盆地构造沉降速率和沉积物补给速率发生变化, 使同一成盆期产生不同的演化阶段

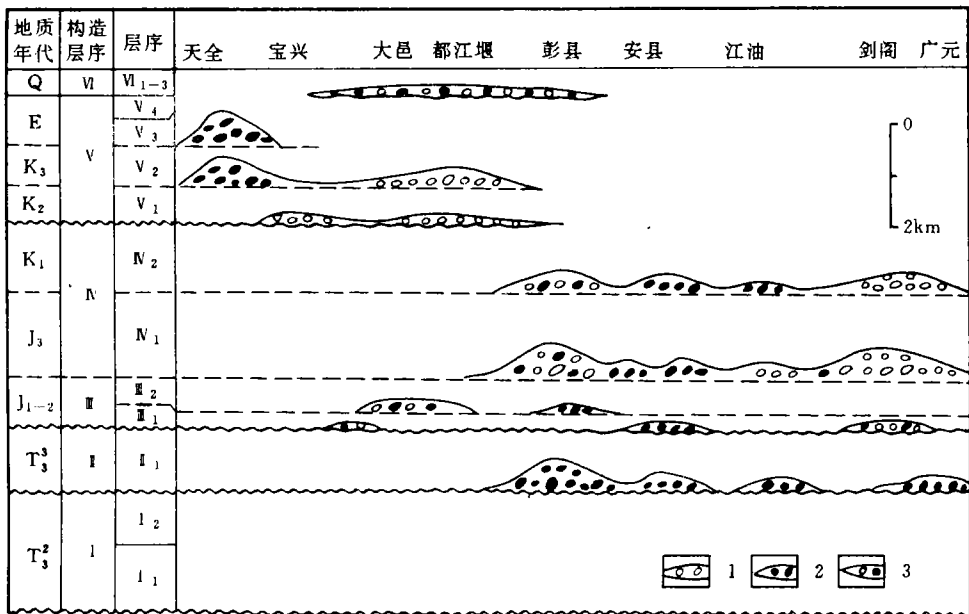


图 1 龙门山前陆盆地西缘中生代砾岩时空分布示意图

Fig. 1 Distribution of the conglomerate in the Longmen Mountains foreland basin

1. 石英质砾岩; 2. 石灰质砾岩; 3. 复成分砾岩

a. 龙门山前陆盆地西缘所存在的 10 个主要砾岩层, 显示龙门山冲断带自诺利克期以来, 至少存在 10 个逆冲推覆事件(表 1)。

b. 龙门山前陆盆地充填序列中最底部的砾岩层出现于小塘子组底部(其成分以岩浆岩和火山岩为主, 并见于崇庆怀远和都江堰市虹口两地), 显示了诺利克期龙门山冲断带形成, 并处

于逆冲抬升剥蚀状态,为龙门山前陆盆地提供物源。

c. 晚三叠世—早白垩世砾岩主要分布于盆地西缘中北段,而中白垩世—早第三纪和第四纪砾岩分布于盆地西缘中南段,显示龙门山逆冲推覆强度具有随时代变新由北东向南西迁移的特点,并具左旋剪切的特征。

d. 龙门山前陆盆地西缘的砾质楔状体在空间上还具有随时代变新由北西向南东迁移的特点,最老的砾岩层位于北川—映秀断裂的东侧,最新的砾岩层位于广元—大邑断裂的东侧,显示了龙门山冲断带具有前展式向盆内推进的特点。

#### 1.4 物源区(龙门山冲断带)地层脱顶历史

龙门山冲断带是龙门山前陆盆地主要物源区,它的逆冲推覆活动直接控制着龙门山前陆盆地的沉积物类型和沉积物供给量,因此龙门山前陆盆地中碎屑岩的碎屑成分能够反映龙门山冲断带地层构成和古逆冲推覆活动,并可根据岩屑成分的首次出现及其在时间上的变化,推测龙门山推覆体前进的年龄和冲断带内地层脱顶的年龄。基于这一认识,我们详细研究了龙门山西缘中段的砂岩岩屑垂向分布特征(图2,据200个砂岩薄片统计)和砾岩中砾石成分在垂向上的变化特征,并结合现今龙门山中段各推覆构造带地层构成(表3),建立了龙门山冲断带地层脱顶顺序(表4)。

表3 龙门山冲断带中段各推覆构造带地层构成

Table 3 The stratigraphic constitution of the thrust zone in the Longmen Mountains thrust belt

推覆构造带	松潘—甘孜褶皱带 (东缘)	A 带	B 带	C 带
地层构成	S <sub>mx</sub> -T <sub>3</sub> <sup>1</sup> 浅变质岩夹灰岩	主要为 PreZ 杂岩体,残留 Za 火山岩和 Zb-P <sub>2</sub> 沉积岩,由此推测 PreZ 杂岩体上曾覆盖 Zb-T 沉积岩	D-T <sub>2</sub> 沉积岩(飞来峰)和 T <sub>3</sub> -J <sub>2</sub> 碎屑岩	J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub> 红色碎屑岩

表4 龙门山冲断带地层脱顶顺序

Table 4 The unroofing history of strata in the Longmen Mountains thrust belt

地质年代	构造层序	龙门山冲断带地层脱顶顺序	推测的龙门山各逆冲推覆构造带前进顺序
Q	VI	PreZ 杂岩体脱顶, J <sub>3</sub> -E 红层卷入冲断带并脱顶	广元—大邑逆冲断裂(F <sub>4</sub> )逆冲推覆, C 带形成
K <sub>3</sub> -E	V		
J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub>	IV	J <sub>1-2</sub> 红层卷入冲断带并脱顶	马角坝—灌县逆冲断裂(F <sub>3</sub> )逆冲推覆, B 带形成
J <sub>1-2</sub>	III		
T <sub>3</sub> <sup>3</sup>	I	Pz-T <sub>2</sub> 地层脱顶, T <sub>3</sub> <sup>2</sup> 地层卷入冲断带并脱顶	北川—映秀逆冲断裂(F <sub>2</sub> )逆冲推覆, A 带形成
T <sub>3</sub> <sup>2</sup>	I	变质岩脱顶, 部分岩浆岩、火山岩脱顶	青川—茂汶逆冲断裂(F <sub>1</sub> )逆冲推覆, 松潘—甘孜褶皱带(东缘)形成

a. 变质岩岩屑自小塘子组砂岩中首次出现以来,一直是砂岩岩屑成分的主要构成部分。显示松潘—甘孜褶皱带浅变质岩自诺利克期脱顶以来,一直处于抬升剥蚀状态,表明松潘—甘孜褶皱带和青川—茂汶断裂形成于诺利克期。

b. 碳酸盐岩岩屑也是构成本区砂岩和砾岩主体组分之一。虽然它在诺利克期早期的砂岩中已开始出现,但大规模则出现于诺利克期晚期(须三段)和瑞替克期(须四段)砂岩和砾岩中;



龙门山冲断带的岩浆岩曾脱顶过两次,但作为龙门山冲断带 A 带的前震旦系杂岩可能全部脱顶于第四纪。

f. 从龙门山冲断带所卷入龙门山前陆盆地地层越来越新这一特点,我们可以看出龙门山冲断带是以前展式向盆内推进的。

### 1.5 龙门山前陆盆地构造沉降历史

研究表明,龙门山前陆盆地的挠曲下沉和前陆隆起的隆升是岩石圈对龙门山冲断带逆冲推覆所产生构造负载的地壳均衡响应,龙门山前陆盆地构造沉降的幅度和速率与龙门山冲断带构造负载量和逆冲推覆速率呈正比关系(李勇、曾允孚,1994a),因此我们可以根据龙门山前陆盆地构造沉降曲线揭示龙门山冲断带逆冲推覆速率和构造负载量。本次根据实测地层厚度和钻井地层厚度,并经过初步压实校正和均衡补偿校正,编制了龙门山前陆盆地构造沉降曲线(图 3),从该曲线可获得如下认识:

a. 龙门山前陆盆地构造沉降曲线以凸面向上的形式为特征,应是挠曲负载过程的反应,因此它是反映龙门山冲断带逆冲推覆历史的良好标志。

b. 龙门山前陆盆地构造沉降曲线由 8 个不同类型的上凸形式(段落)构成,显示龙门山前陆盆地不同时期的构造沉降速率不同,也反映了龙门山冲断带逆冲推覆速率在不同时期亦不同。其中晚三叠世、晚侏罗世—早白垩世、晚白垩世—早第三纪和第四纪是龙门山前陆盆地沉降速率相对比较大的时期,反映了龙门山冲断带在这些时期逆冲推覆速率较大,是逆冲推覆作用强烈时期;而早中侏罗世、中白垩世和第三纪是龙门山前陆盆地沉降速率相对较小或抬升时期,反映了龙门山冲断带在这些时期逆冲推覆速率较小,是相对“平静”时期。

c. 龙门山前陆盆地沉降速率最大时期为晚三叠世,反映了该时期是龙门山冲断带地壳最大缩短时期,逆冲推覆体以最大速率堆积于龙门山前陆盆地西缘。

d. 龙门山前陆盆地构造沉降曲线上每一个凸面向上的形式(段落)均与盆地充填序列中的巨型旋回层(构造层序)和大型旋回层(层序)相对应,显示它们是盆地构造沉降速率变化的沉积响应,同时也是龙门山冲断带逆冲推覆速率变化的地层标识。

前文已指出,龙门山前陆盆地的沉降是由于龙门山冲断带逆冲推覆构造负载导致地壳弯

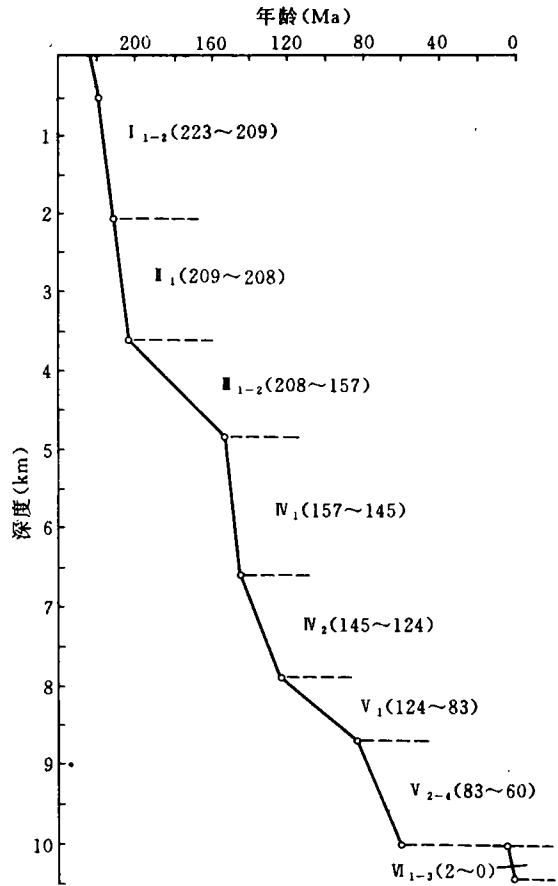


图 3 龙门山前陆盆地构造沉降历史

Fig. 3 Tectonic subsidence history of the Longmen Mountains foreland basin

曲而形成的,这个弯曲度必须由地幔调整而达到平衡。因此假设沉积物密度平均为  $2.5 \text{ g/cm}^3$ ,地幔密度为  $3.3 \text{ g/cm}^3$ ,则逆冲推覆所产生的构造负载应为  $2.5 h$ ;地幔所产生的沉降应为  $3.3 \delta$ 。理论上这两个数值必须保持平衡,即  $3.3 \delta = 2.5 h$ ,或  $h = 1.32 \delta$ ,其中  $h$  为冲断推覆体的高度, $\delta$  为前陆盆地最大沉积厚度。因此,根据该公式,我们利用龙门山前陆盆地各个成盆期的最大沉积厚度估算了龙门山冲断带在这些时期的抬升高度和抬升速率(表 5)。结果表明龙门山逆冲推覆抬升速率最大的时期为瑞替克期和第四纪,其次为诺利克期、晚侏罗世一早白垩世和晚白垩世一早第三纪;最小的时期为早中侏罗世和中白垩世,这一结果与前文相同。此外从表 5 中可知第四纪龙门山抬升速率为  $0.35 \text{ mm/a}$ ,而近年来地形变形测量资料表明,以九顶山为代表的龙门山正以  $0.3 \sim 0.4 \text{ mm/a}$  的速率持续抬升,两个数值基本一致,表明上述估算方法较为可信,同时也再次证实了龙门山前陆盆地是由于龙门山逆冲推覆构造负载导致地壳弯曲而形成的前陆盆地,龙门山冲断带逆冲推覆作用控制着龙门山前陆盆地沉积—构造演化,而龙门山前陆盆地沉积是对龙门山逆冲推覆作用的响应这一论断。

表 5 根据龙门山前陆盆地沉积厚度估算的龙门山抬升高度和速率

Table 5 Calculated uplift rate and height of Longmen

Mountains by the strata thickness in the Longmen Mountains foreland basin

时 代	持续年龄 (Ma)	前陆盆地沉积厚度 (m)	龙门山抬升高度 (m)	龙门山抬升 强烈地段	抬升速率 (mm/a)
Q	2	541	714.12	中南段	0.35
K <sub>3</sub> —E	23	2441	3222.1	中南段	0.14
K <sub>2</sub>	41	870	1148.4		0.03
J <sub>3</sub> —K <sub>1</sub>	33	3063	4043.2	中北段	0.12
J <sub>1-2</sub>	51	1390	1831.8		0.03
T <sub>3</sub> <sup>3</sup>	1	1584	2090.9	中北段	2.19
T <sub>3</sub> <sup>2</sup>	14	2059	2717.9	中北段	0.19

### 1.6 龙门山前陆盆地沉降中心的迁移规律

龙门山前陆盆地沉降中心宏观上位于盆地的西部并靠近龙门山冲断带,但是在地质历史时期曾发生明显的迁移,一方面表现在北西-南东方向上的迁移,反映了龙门山冲断带具前展式向盆地内推进的特征;另一方面则表现在北东-南西方向上的迁移(郭正吾,1983),如晚三叠世盆地沉降中心位于盆地西缘中北段,而早中侏罗世龙门山前陆盆地与整个四川盆地连为一体,沉降中心向北东迁移至大巴山冲断带前缘;晚侏罗世一早白垩世沉降中心又迁至龙门山前陆盆地西缘中北段,中白垩世一早第三纪沉降中心迁移到龙门山前陆盆地西缘南段。这一方面反映了晚三叠世、晚侏罗世一早白垩世和中白垩世一早第三纪是龙门山冲断带强烈逆冲推覆时期,因为这些时期盆地沉降中心均位于龙门山前陆盆地的西部,而早中侏罗世时期是龙门山冲断带逆冲推覆作用“平静”时期,该时期沉降中心向北东迁移至大巴山冲断带前缘,显示该时期是大巴山冲断带强烈活动时期;另一方面反映龙门山冲断带的逆冲推覆强度具有由北东向南西迁移的特点,并具左旋剪切的特征。

### 1.7 龙门山前陆盆地前陆隆起的迁移规律

前陆隆起是前陆盆地的重要组成部分,它是岩石圈受上叠地壳加载于克拉通侧发生拱曲

的结果,其向上挠曲的幅度与前陆盆地沉降中心下沉幅度成正比,即下沉幅度大,前陆隆起隆升幅度就高,反之亦然(Beaumont,1981)。因此,前陆隆起的隆升幅度是前陆盆地边缘构造负载的均衡响应,构造负荷越大,前陆隆起隆升幅度也越大,反之亦然。显然龙门山前陆盆地的前陆隆起的发育和迁移是龙门山冲断带构造负载强度的标志。

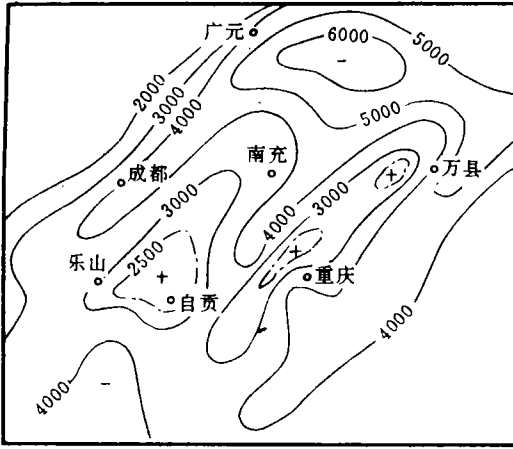


图4 喜马拉雅运动前上三叠统顶面古构造略图

Fig. 4 Isopach map of Jurassic to Cretaceous strata in Sichuan Basin  
(据韩克猷等,1991)

单位:m

1991),自早侏罗世开始,自贡—乐山古隆起逐渐形成,隆起上地层厚度较薄,至晚侏罗世,隆起中心出现剥蚀,隆起面积达 38 000 km<sup>2</sup>,闭合幅度达 400 余米;在宏观上,古隆起走向为北东-南西,并与龙门山冲断带和开江—泸州隆起大致平行(图 4),因此该古隆起应是早中侏罗世龙门山前陆盆地的前陆隆起,其与开江—泸州前陆隆起相比,已明显向西迁移。晚侏罗世—第四纪龙门山前陆盆地的前陆隆起为龙泉山前陆隆起,隆起幅度大,地貌显示明显,其与自贡—乐山前陆隆起相比,又向西迁移了。根据龙门山前陆盆地的前陆隆起的发育程度和迁移规律,可获如下认识:

a. 龙门山前陆盆地的前陆隆起强烈发育于晚三叠世、晚侏罗世—早白垩世、晚白垩世—早第三纪和第四纪,显示这些时期是龙门山冲断带构造负载强烈时期。

b. 龙门山前陆盆地的前陆隆起具有由东向西的迁移趋势,龙门山前陆盆地越来越窄,显示龙门山冲断带构造负载越来越大。

## 2 龙门山冲断带逆冲推覆作用的特征

根据地层标识,并结合龙门山冲断带变形特征和主干断裂与地层切割关系,以及岩浆岩、变质岩年龄频谱(袁海华,1991;夏宗实,1993)和龙门山主干断裂带 ESR 年龄值(李勇、曾允孚,1994b),现对龙门山冲断带的特征和形成发展历史作初步分析和总结如下:

a. 龙门山冲断带逆冲推覆构造负载所引起的地壳均衡调整是龙门山前陆盆地挠曲下沉和

龙门山前陆盆地的前陆隆起在晚三叠世和晚侏罗世—第四纪均较发育,而早中侏罗世不太发育。晚三叠世龙门山前陆盆地的前陆隆起为开江—泸州前陆隆起,呈北东-南西向展布,即习称的开江—泸州古隆起(图 4),分割了龙门山前陆盆地与川东前陆盆地。前陆隆起上发育多重不整合面,上覆层为瑞替克期地层(须四段或香溪组),下伏层为中三叠统嘉陵江组和雷口坡组,显示该隆起形成于诺利克期,其隆起幅度达 600~700m(冯福凯等,1981),从而显示了晚三叠世是龙门山冲断带构造负载强烈时期。早中侏罗世,龙门山前陆盆地的前陆隆起隆升幅度不大,地形平缓,龙门山前陆盆地与四川盆地连为一体,均为湖泊和河流沉积,显示早中侏罗世时期是龙门山冲断带相对平静时期。尽管如此,研究表明(韩克猷等,

前陆隆起隆升的直接原因,它们是一个动力系统的产物。龙门山冲断带逆冲推覆作用直接控制着龙门山前陆盆地沉积—构造演化,龙门山冲断带每次逆冲推覆均导致龙门山前陆盆地新的沉降和沉积物充填,并直接控制龙门山前陆盆地沉积响应,而且周期性逆冲推覆造成龙门山前陆盆地中的幕式沉积,产生构造层序和层序,以及砾质楔状体的周期性出现和沉积体系配置模式的演变。因此,龙门山前陆盆地充填地层是分析龙门山冲断带变形历史的基础。

b. 龙门山冲断带主干断裂形成于诺利克期以来的不同地质时期,并具有多次活动的特点。根据地层标识和龙门山各主干断裂所切割的最新地层,我们推测青川—茂汶断裂形成于诺利克期,北川—映秀断裂形成于瑞替克期,马角坝—灌县断裂形成于晚侏罗世,广元—大邑断裂形成于第四纪中更新世。此外青川—茂汶断裂带中构造岩石英颗粒的 ESR 年龄值( $2.04 \times 10^8$ a,  $1.07 \times 10^8$ a)显示该断裂在早侏罗世和中白垩世均有活动,具有多期活动的特点。现代大地测量和地震资料也证实了龙门山主干断裂第四纪以来仍处于活动状态,同样也显示龙门山主干断裂具多期活动的特点。

c. 龙门山冲断带逆冲推覆作用在时空上具前展式渐进推覆的特点。在时间上,自西而东各推覆构造带形成的时间越来越新,其中松潘—甘孜褶皱带(东缘)形成于诺利克期,龙门山冲断带 A 带形成于瑞替克期, B 带形成于晚侏罗世, C 带形成于第四纪中更新世;在空间上,随时代变新各推覆构造带自西而东向盆内推进。

d. 龙门山冲断带逆冲推覆作用在时间上具多幕性和周期性,现今龙门山冲断带是自诺利克期以来经多次逆冲推覆作用叠加而成的(表 1)。每个逆冲推覆幕所产生的构造负载均导致其前缘挠曲下沉形成新的成盆期,而逆冲推覆事件则导致前陆盆地构造沉降速率和沉积物补给速率发生变化,使同一成盆期产生不同的演化阶段。

e. 龙门山冲断带逆冲推覆作用的强度随着时代变新具有由北东向南西迁移的特点,并具左旋剪切的特征。

f. 前人(Tappner 等, 1990; 孙肇才等, 1991)研究表明,龙门山及邻区在中新生代主要受控于特提斯构造域的演化,特提斯对龙门山乃至整个扬子区先压后挤。龙门山前陆盆地构造沉降历史和前陆隆起发育程度和横向迁移,均显示龙门山冲断带构造负载最大的时期为晚三叠世、晚侏罗世—早白垩世、晚白垩世—早第三纪和第四纪,这些时期也是龙门山冲断带地壳强烈缩短时期,它们分别与特提斯构造域的古特提斯洋、中特提斯洋、新特提斯洋的关闭时期和青藏高原强烈隆升的时期一一对应,而且龙门山冲断带相对平静时期( $J_{1-2}$ )与中特提斯洋打开的时期相对应。从而表现为龙门山冲断带和龙门山前陆盆地的形成发展与特提斯构造域晚三叠世以来的主要地质事件之间具有极好的对应性,显示它们是在同一地球动力学背景下形成的产物。因此,我们认为龙门山冲断带是在特提斯碰撞型山链不断形成过程中,因递进推覆而产生的陆内(板内)山链系统,是一个受制于板缘挤压所产生的陆内榨挤剪切系统。

本文是在龙门山天全幅、灌县幅等 6 幅 1:5 万区域地质调查及专题研究的基础上完成的,在此向区调队全体成员表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 曾允孚,李勇等. 天全、芦山地区晚白垩世—早第三纪陆相盆地层序地层分析. 矿物岩石, 1992, 12(4)
- 2 李勇,曾允孚. 试论龙门山逆冲推覆作用的沉积响应——以成都盆地为例. 矿物岩石, 1994, 14(1)
- 3 李勇,曾允孚. 龙门山前陆盆地充填序列. 成都理工学院学报, 1994, 21(3)

# STRATIGRAPHIC SIGNATURES TO THRUSTING OF THE LONGMEN MOUNTAINS THRUST BELT

Li Yong      Zeng Yunfu

**Abstract** The paper studies the stratigraphic signatures to thrusting of the Longmen Mountains thrust belt. According to the signatures recorded in Longmen Mountains foreland basin, the thrusting activity of the Longmen Mountains thrust belt since Late Triassic Norian is divided into six thrusting episodes and eleven thrusting events. The Longmen Mountains thrust belt formed from Late Triassic Rhaetian to Quaternary with the developing direction from NW to SE and spreading type of “piggyback type”.

**Key words** thrusting; stratigraphic signature; foreland basin; Longmen Mountains

## 我院引进高温高压 MTS 岩石综合物理参数测试系统

[本刊讯]“MTS 岩石综合物理参数测试系统”是我院“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室利用世界银行贷款从美国 MTS 公司引进的最新产品。该系统以数字电液伺服控制岩石试验机为基础,是当今国际上第一个能够在地层条件下同时测试岩石的力学参数、储层物性参数和地震波速度的大型仪器。

1. 岩石力学参数测试部分,可做单轴、三轴条件下岩石强度、破坏全过程、疲劳、蠕变等试验,单轴静加载能力为 1000 kN,三轴室最高温度达 200 ℃,最大围压 140 MPa,试样内压(孔隙压力)可达 70 MPa。通过实测岩样在各种温、压条件下的应力-应变参量,可以获得岩石静态扬氏模量、泊松比、剪切模量、抗压强度等参数。

2. 岩石声波参数测试部分,可以测量单轴加载、三轴加载以及控制内压、温度等条件下岩石的纵(P)横( $S_1, S_2$ )波速度,并由此获得动态弹性参数(扬氏模量、泊松比、拉梅常数、体积模量、剪切模量等)。三轴加载条件下,声波测试的最高温度为 125 ℃,最大围压为 140 MPa,孔压为 70 MPa(水),轴向载荷以岩石不破坏为限。声波探头中心频率为 500 kHz 和 2 MHz。

3. 孔渗测试子系统,在三轴条件下进行,岩心中流动和测量介质为水,渗透率测量范围为  $10^{-6} \sim 3 \mu\text{m}^2$ ,测试最大围压为 140 MPa,最高孔压为 70 MPa。围压变化时,岩石孔隙体积变化量的测试条件与测渗透率的条件相同,岩心中排出流体体积的计量精度为  $0.001 \text{ cm}^3$ 。

4. 利用该套设备还可进行不同温压条件下的水-岩相互作用试验。

5. 系统轴压、围压和孔压均为数字电液伺服控制,稳定可靠。试验数据、波形记录由计算机自动采集,并配有数据后处理软件 Excel,可随时将数据按指定表格形式或图形输出。

(刘树根,单玉铭)