

文章编号: 1009-3850(2002)04-0067-06

# 川西龙门山前陆盆地构造沉降初步分析

张 箭<sup>1</sup>, 徐 强<sup>2,3</sup>, 廖仕孟<sup>4</sup>, 朱同兴<sup>2</sup>

(1. 中石化西南石油局 研究院, 四川 成都 610081; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 3. 北京大学, 北京 100871; 4. 西南油气田 川西北气矿, 四川 绵阳 621709)

摘要: 研究表明, 龙门山冲断带是川西前陆盆地的主要物源区, 它的逆冲推覆活动直接控制着川西前陆盆地的沉积类型和沉积物供给量。晚三叠世诺利期、瑞替期和晚侏罗世早中期是川西前陆盆地构造沉降速率较高时期, 反映龙门山冲断带在这些时期的逆冲推覆速率较大, 是逆冲推覆作用构造抬升的强烈时期; 而早侏罗世是该地区构造沉降速率相对较小时期, 反映龙门山冲断带在早侏罗世的逆冲推覆抬升速率较小, 是逆冲推覆作用相对平静时期。同时, 估算龙门山逆冲推覆体在各个不同时期的抬升高度和抬升速率。

关键词: 龙门山; 前陆盆地; 构造沉降; 四川

中图分类号: TE121.3 文献标识码: A

在利用地层记录进行盆地分析中, 人们通常利用构造沉降曲线来研究一个盆地所经历的整体沉降和构造控制的沉降。由于前陆盆地是大陆岩石圈受上叠地壳加载引起挠曲变形的边缘拗陷盆地, 是逆冲推覆体推进的自然结果, 冲断带每次挤压、逆冲均导致相应的前陆盆地产生新的沉降, 增加容纳空间。龙门山前陆盆地的构造沉降史是反映其前陆冲断带逆冲推覆构造演化历史的良好标志, 前人在这方面也进行了初步的工作<sup>[1-3]</sup>。

川西龙门山前陆盆地在晚三叠世有一个箕形盆地的沉积特征, 是由逆冲推覆造山作用所产生的构造负载动力形成。侏罗纪以后整个盆地的地层构型为一个板状特征, 同时在其近造山带一侧的盆地边缘又有大量的粗碎屑存在(图 1)。根据川西前陆盆地沉积物分布规律、沉积特征和沉积相差异, 笔者希望能够通过对盆地的构造沉降曲线恢复获得川西龙门山前陆盆地的地球动力学特征。

## 1 构造沉降史恢复

地质历史中, 沉积盆地构造沉降记录在沉积地层中, 是反映盆地演化的一部良好的档案, 是沉降恢复中最可靠的资料来源。对于盆地沉降的探讨是从理论和实践两个方面平行展开的。理论上的研究导致了一系列盆地动力学模式的出现, 从不同角度对盆地成因机制作出具体而合理的解释; 而实践的结果则是创造并完善了一套以实际资料来恢复盆地沉降史的方法<sup>[2-4]</sup>。

恢复构造沉降史首先进行地层压实校正。压实校正就是把某一地层单元的实测厚度恢复到沉积时或埋藏过程中某一时期的厚度。压实主要是上覆地层重量使地层内流体排出, 孔隙度减小。因此, 校正前应对盆地正常压实条件下孔隙度与埋深的关系有所了解。孔隙度和埋深的一般关系为:  $f = f_0 e^{-cz}$ 。

其中  $f$  为孔隙度,  $f_0$  为地表原始孔隙度,  $z$  为埋深,  $c$  为压实系数。孔隙度和埋深的变化关系经研

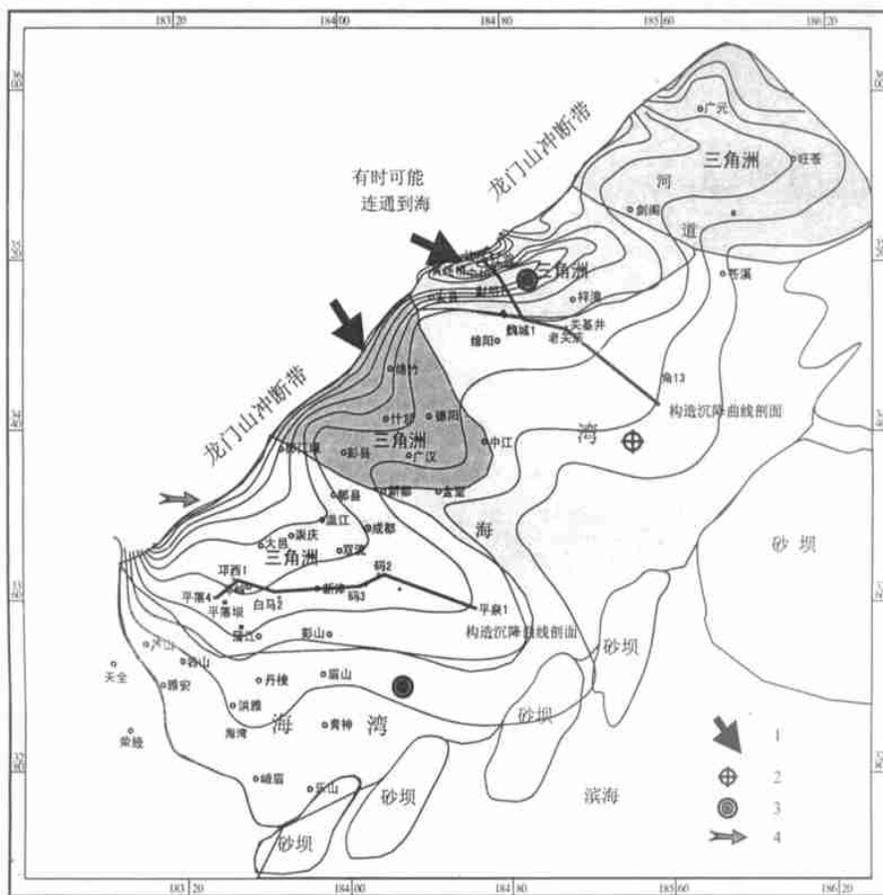


图 1 川西地区晚三叠世须家河期二段岩相古地理图

1. 物源供给; 2. 沉降中心; 3. 沉积中心; 4. 海侵方向

Fig. 1 Sedimentary facies and palaeogeographic map of the second member of the Xujiahean (Late Triassic) in western Sichuan

1= provenance; 2= subsidence center; 3= depocenter; 4= transgression direction

究可以看出, 孔隙度随埋深而衰减, 最大衰减曲线在 1~2km 之间; 2km 以下的深度无论是碎屑岩或碳酸盐岩, 孔隙度衰减率极小(图 2)。

实践中, 压实校正方法主要采用 Perrier 和 Quiblier(1974)、Doglioni 和 Goldhammer(1988)的方法(图 3); 地层厚度资料主要根据实测地层剖面和完整钻井剖面(国家“九五”攻关项目:“川西地区上三叠统至白垩系岩相古地理研究”)。

古水深校正, 在构造沉降恢复中是重要而敏感的问题, 但是要准确精细地进行古水深分析是相当困难的。研究中, 主要依据对沉积环境的系统分析, 并结合古生物化石群落和生态组合确定古水深。古水深基准面选现今海平面。过去某一时间海平面高度相对于现今的变化值 ( $\Delta SL$ ) 可以方便地从 Vail 全球性海平变化曲线上读出。因此受全球海平面变化影响的古水深校正后的盆地沉降为:

$D_B = S + (W_d - \Delta SL)$  (Bond and Kominsz, 1984, 以下公式同)

式中,  $D_B$  是盆地沉降量,  $S$  是原始沉积厚度,  $W_d$  是古水深,  $\Delta SL$  是过去某时相对于现今海平面的升降值, 高于现今取正值, 低于现今取负值。

其次, 对累积地层厚度曲线除去压实、水深和沉积负载的影响, 则构造沉降曲线公式为:

$$Y = S^* \frac{\rho_m - \rho_s}{\rho_m - \rho_w} + W_d - \Delta SL \frac{\rho_m}{\rho_m - \rho_w}$$

式中,  $Y$  为构造沉降;  $S^*$  为压实校正地层厚度;  $\rho_s$  为平均沉积物密度(均值为  $2.638 \text{g/cm}^3$ );  $\rho_m$  为平均地幔密度(均值为  $3.30 \text{g/cm}^3$ );  $\rho_w$  为平均海水密度(均值为  $1.03 \text{g/cm}^3$ );  $W_d$  为沉积物沉积时水深;  $\Delta SL$  为相对现在海平面高度的全球海平面变化, 对海水和沉积物负载采取 Airy 补偿系数。

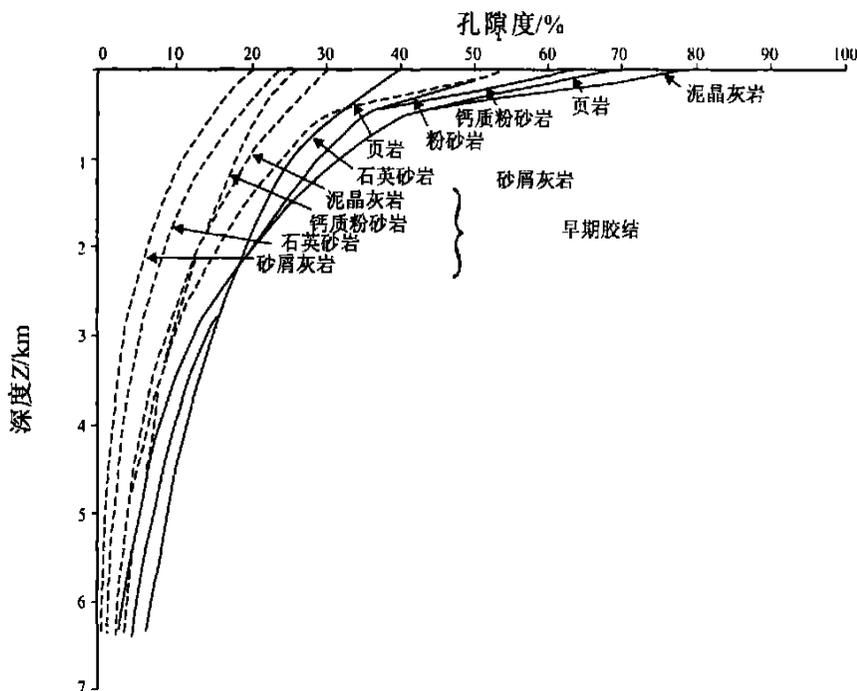


图2 埋深与孔隙度衰减经验曲线(据 Perier 和 Quiblier, 1974)

Fig. 2 Empirical curves for burial depth versus porosity decrease (after Perier and Quiblier, 1974)

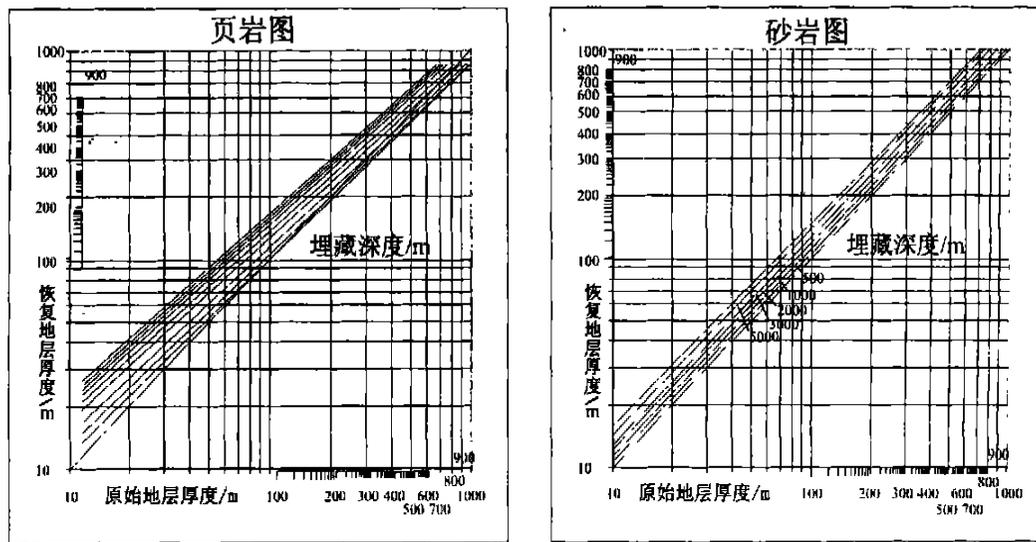


图3 不同岩石类型压实校正厚度与埋深关系(据 Doglioni 和 Goldhammer, 1988)

Fig.3 Plot of compaction correction thickness versus burial depth for shales (left) and sandstones (right) (after Doglioni and Goldhammer, 1988)

## 2 解释和讨论

压实校正后的地层厚度可真实地反映出川西前陆盆地基底构造沉降过程(图4,图5)。图4代表川西前陆盆地北部晚三叠世卡尼期—早白垩世基底构造沉降演化史,图5则代表了川西前陆盆地南部晚

三叠世—早白垩世基底构造沉降演化史。虽然曾有人将龙门山南、北段明显的沉积差异视为不同构造盆地成因的产物,但笔者认为,至少从构造沉降曲线来分析,两者形态基本一致,反映当时的龙门山南、北段应当属于一个统一的川西前陆盆地。从编制的川西前陆盆地南、北部两条横向构造沉降曲线(图

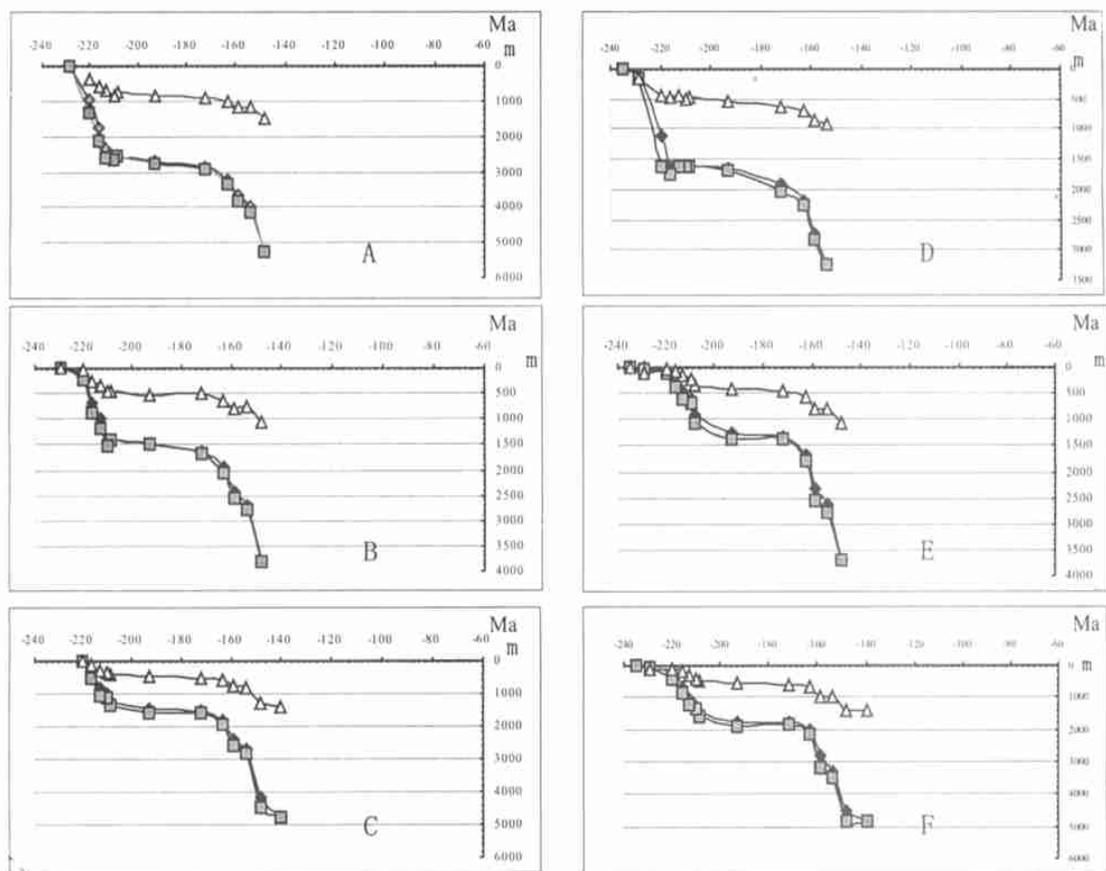


图4 川西前陆盆地北部构造沉降曲线

A. 彰名1井; B. 中10井; C. 魏城1井; D. 让水1井; E. 角13井; F. 关基井

△构造沉降曲线; ◆现在地层厚度; ■去压实地层厚度

Fig. 4 Curves showing the tectonic subsidence in the northern part of the Longmenshan foreland basin in western Sichuan  
A= Zhangming-1 well; B= Zhong-10 well; C= Weicheng-1 well; D= Rangshui-1 well; E= Jiao-13 well; F= Guanji well  
△ Tectonic subsidence curve; ◆ Present-day stratigraphic thickness; ■ Decompacted stratigraphic thickness

4, 图5)中, 我们可获得如下几点重要认识:

(1) 川西前陆盆地构造沉降曲线以凸面向上的形式为其主要特征, 表明它是盆地岩石圈挠曲沉降的反映, 因此, 它也是反映龙门山逆冲推覆过程的良好标志。

(2) 通过对盆地南部和北部两条横向构造沉降曲线形态的对比, 可以发现两者形态基本吻合, 表明当时的南部和北部盆地应为一个统一的川西前陆盆地<sup>[5-6]</sup>。

(3) 两条横向构造沉降曲线均显示, 龙门山前缘地带的构造沉降量要明显地大于盆地内部。换句话说, 当时前陆盆地基底形态为西陡东缓, 形成的沉积地层厚度也是西厚东薄。

(4) 川西前陆盆地完整的构造沉降曲线一般由7个不同类型的段落构成, 如平落4井等, 显示川西

前陆盆地不同时期具有不同的构造沉降速率和沉积物堆积速率, 同时也反映出龙门山逆冲推覆带的构造逆冲强度和逆冲推覆体的抬升速率在不同时期有明显的变化。

(5) 晚三叠世诺利期、瑞替克期和晚侏罗世早中期是川西前陆盆地构造沉降速率较高时期, 反映龙门山冲断带在这些时期的逆冲推覆速率较大, 是逆冲推覆作用构造抬升的强烈时期; 而早侏罗世是川西前陆盆地构造沉降速率相对较小时期, 反映龙门山冲断带在早侏罗世期的逆冲推覆抬升速率较小, 是逆冲推覆作用相对平静时期<sup>[7-10]</sup>。

(6) 川西前陆盆地构造沉降速率最大的时期为晚三叠世诺利克期—瑞替克期, 反映龙门山冲断带地壳大幅度缩短时期为诺利克期—瑞替克期, 该时期逆冲推覆体以最大推进速率堆积于川西前陆盆地

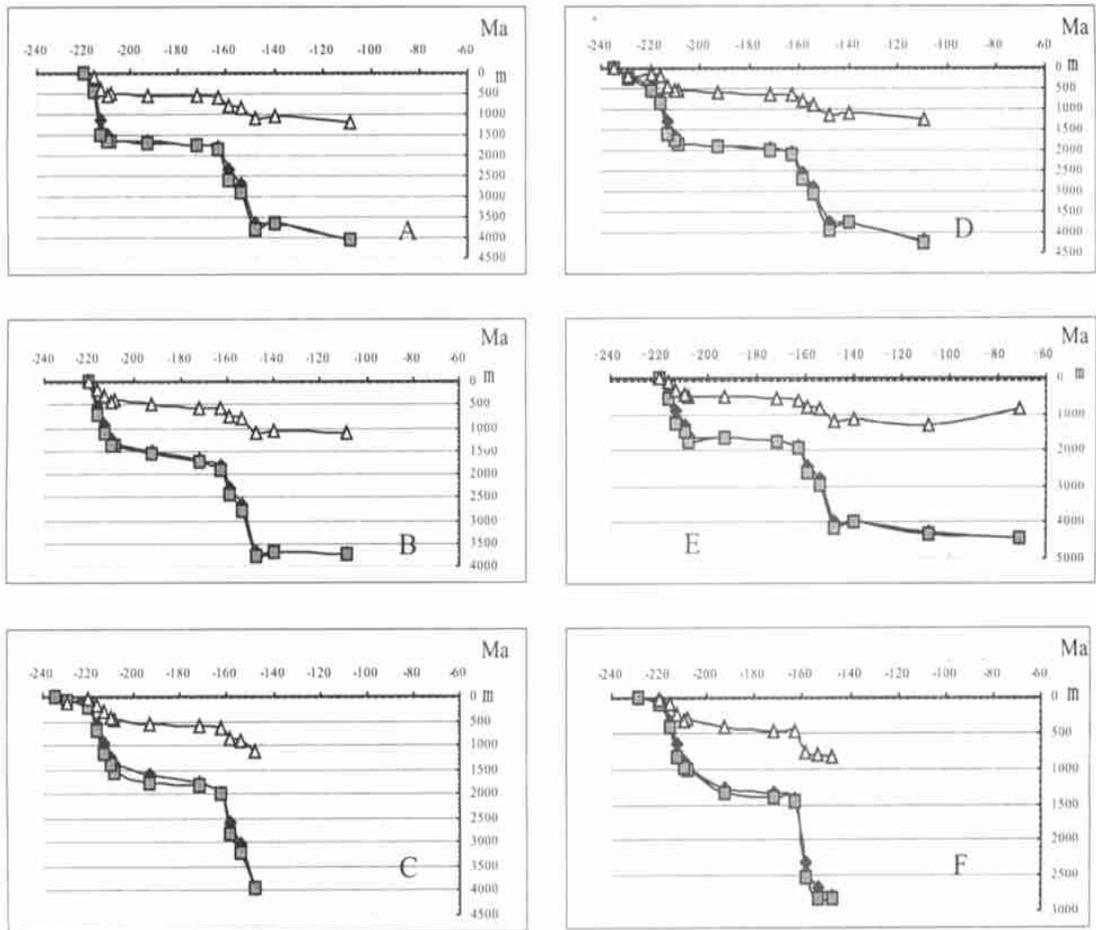


图5 川西前陆盆地南部构造沉降曲线

A. 邛西 1 井; B. 平落 4 井; C. 码 3 井; D. 白马 2 井; E. 码 2 井; F. 平泉 1 井(图例见图 4)

Fig. 5 Curves showing the tectonic subsidence in the southern part of the Longmenshan foreland basin in western Sichuan  
A= Qionxi-1 well; B= Pingluo-4 well; C= Ma-3 well; D= Baima-2 well; E= Ma-2 well; F= Pingquan well (See Fig. 4 for the symbols)

西缘。

同时,利用前陆盆地最大沉积的厚度可以粗略地估算造山带冲断推覆构造抬升的高度和抬升的速率<sup>[7,8]</sup>。由于川西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挠曲而形成的,这个挠曲度必须由地幔调整而达到平衡。因此假设地幔密度为  $3.3\text{g}/\text{cm}^3$ ,晚三叠世一早白垩世沉积物密度平均为  $2.638\text{g}/\text{cm}^3$  (225 个样品实测),则逆冲推覆产生的构造负载应为  $2.638H$ ;地幔产生的沉降应为  $3.3S$ 。在理论上这两个数值必须保持平衡,即  $3.3S = 2.638H$ ,或  $H = 1.25S$ 。其中  $H$  为冲断推覆体的高度,  $S$  为前陆盆地的最大沉积厚度。因此,根据该公式,利用川西前陆盆地各个时期的最大沉积厚度

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 1)。结果表明龙门山逆冲推覆抬升速率最大的时期为晚三叠世瑞替克期,龙门山南段抬升速率为  $0.35\text{mm}/\text{y}$ ,而北段则高达  $0.45\text{mm}/\text{y}$ 。龙门山抬升速率较大的时期还有晚侏罗世(南段为  $0.14\text{mm}/\text{y}$ ,北段为  $0.18\text{mm}/\text{y}$ )和晚三叠世诺利期(南段为  $0.06\text{mm}/\text{y}$ ,北段为  $0.11\text{mm}/\text{y}$ )。龙门山构造抬升速率最小的时期为早中侏罗世和晚三叠世卡尼期,这一结论同盆地充填物的沉积学研究相吻合。此外,从表 1 中我们可以看到,无论是晚三叠世,早中侏罗世还是晚侏罗世,龙门山构造抬升的速率虽然有明显差异,但均表现为北段抬升速率明显地高于南段。

表 1 根据川西前陆盆地最大沉积厚度估算的龙门山抬升高度和抬升速率层位

Table 1 The uplifting heights and rates of the Longmenshan area in western Sichuan on the basis of maximum sediment thickness in representative sections

层位	持续年龄/Ma	盆地沉积厚度/m	龙门山抬升高度/m	抬升速率/mm·y <sup>-1</sup>	代表性剖面
J <sub>3</sub>	12	1326/1771	1658/2214	0.14/0.18	邛西2井/魏城1井
J <sub>1-2</sub>	51	747/1097	934/1371	0.02/0.03	平落4井/彰明1井
T <sub>3</sub> <sup>3</sup>	1.5	421/547	526/684	0.35/0.45	邛西2井/彰明1井
T <sub>3</sub> <sup>2</sup>	24	1145/2059	1431/2574	0.06/0.11	平落4井/彰明1井
T <sub>3</sub> <sup>1</sup>	11.5	177/313	221/392	0.02/0.034	平落4井/江油马鞍塘

注: 由于盆地最大沉积厚度未经压实校正, 所以估算的龙门山抬升高度和抬升速率应偏低, 实际数据可能还会大一些。

## 参考文献:

- [1] 李勇, 等. 龙门山造山带与龙门山前陆盆地的形成演化[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1995.
- [2] 刘宝, 许效松, 潘杏南, 等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [3] 地质矿产部西南石油地质局. 四川盆地碎屑岩油气地质图集[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1996.
- [4] 徐强, 刘宝, 许效松, 等. 东秦岭南带沉积盆地演化与多金属条件[M]. 成都: 西南交大出版社, 1993.
- [5] 郭正吾, 等. 四川盆地的形成与演化[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.
- [6] 罗志立, 等. 龙门山造山带的崛起和四川盆地的形成与演化[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994.
- [7] 刘少峰. 前陆盆地挠曲过程模拟的理论模型. 地学前缘[J]. 1995, 2(3-4): 69-77.
- [8] MIALI A D. Principles of Sedimentary Basin Analysis[M]. New York: Springer-Verlag, 1984.

## Tectonic subsidence of the Longmenshan foreland basin in western Sichuan

ZHANG Jian<sup>1</sup>, XU Qiang<sup>2,3</sup>, LIAO Shi-meng<sup>4</sup>, ZHU Tong-xing<sup>2</sup>

(1. Southwest China Bureau of Petroleum, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China; 3. Beijing University, Beijing 100871, China; 4. Northwest Sichuan Gas Field, Mianyang 621709, Sichuan, China)

**Abstract:** The Longmenshan thrust zone is considered as the principal source area of the Longmenshan foreland basin in western Sichuan, and the thrusting as the main controls on sediment type and supply to the foreland basin. The greater tectonic subsidence rates appeared during the Norian and Rhaetian of the Late Triassic and early and middle Late Jurassic have reflected the greater thrusting and uplifting rates of the Longmenshan area during these periods. The smaller tectonic subsidence rates appeared during the Early Jurassic represent the smaller thrusting and uplifting rates of this area during this period. The thrusting and uplifting rates of the Longmenshan thrust nappe are estimated for various geologic times.

**Key words:** Longmen Mountains; foreland basin; tectonic subsidence; Sichuan