文章编号:1673-5005(2008)02-0012-04

# 龙门山造山带构造演化模式的建立

李 月[1], 周瑶琪[1], 颜世永[1], 杨恒书[2]

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院,山东 东营 257061; 2. 西南科技大学 环境与资源学院,四川 绵阳 621000)

**摘要**:龙门山造山带是扬子板块的西延部分,主要受到3条断裂的控制,分别是汶川-茂汶断裂、北川-映秀断裂和江油-灌县断裂。在扬子板块与松潘-阿坝地块的挤压下,龙门山于印支晚期开始褶皱隆升造山,在造山的过程中控制造山带的3条主要断层由正断层转换成为逆断层。综合前人的观点,通过野外基础地质调查并利用平衡剖面法恢复了龙门山的造山过程,并建立了造山带构造演化模式。结果表明,龙门山在造山初期主要是受到北西方向力的作用;晚三叠世末期主要受到由于东南方向太平洋板块的挤压而迫使扬子板块挤压的应力作用;燕山期龙门山造山带继承了印支期的逆冲推覆构造作用继续上升;喜玛拉雅期推覆构造进一步发展,在推覆构造活动加剧的同时,由于重力作用,使被推到高处的不稳定岩体大量下滑,形成滑覆体和推覆体叠加的构造格局,最终演化为现今的构造样式。

**关键词**:龙门山造山带; 逆冲; 推覆; 构造演化模式

**中图分类号**:P 542.2 **文献标识码**:A

## Establishment of tectonic evolution pattern of Longmenshan Orogen

LI Yue[1], ZHOU Yao-qi[1], YAN Shi-yong[1], YANG Heng-shu[2]

(1. *Faculty of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum, Dongying* 257061, *Shandong Province, China*; 2. *School of Environment and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang* 621000, *Sichuan Province, China*)

**Abstract**: Longmenshan Orogen is the western part of Yangtze plate and develops three main faults which are Wenchuan-Maowen, Beichuan-Yingxiu and Jiangyou-Guanxian fault. Because of the extrusion of Yangtze plate and Songpan-Aba block, Longmenshan began to fold uplift at late Indo-Chinese epoch. The three main faults became the reverse faults from the normal faults in the orogenic process. Based on the developed theory, through the field observation and the equilibrium section, the mountain-building process of Longmenshan Orogen was discovered, and the tectonic evolution pattern of orogen was established. The results show that at the early of orogen, Longmenshan was compressed by the force coming from northwest. At the latest trias, Longmenshan began to be compressed by Yangtze plate which is compressed by Pacific-oceanic plate from southeast. Longmenshan Orogen inherited overthrust structures of Indosinian to further uplift in Yanshanian. In Himalayan epoch, the overthrust structures developed, and at the same time, the unstable rock began to glide and became the stacked structure pattern of gliding nappe and thrust nappe and finally the contemporary format formed.

**Key words**: Longmenshan Orogen; thrust tectonic; overthrust tectonic; tectonic evolution pattern

造山带是地壳中巨大而窄长的、通常呈直线或弧形的构造带,是岩石圈构造运动所形成的强烈活动带。在这一构造带内,岩石圈横向收缩,垂向加厚,其褶皱、断裂发育,许多重要的区域构造特点都集中于此。这里是沉积作用、岩浆活动、变质作用最强烈的地带,是在地球深部构造动力背景下岩石圈剧烈构造变动和物质结构的重新组建而形成的[1]。龙门山造山带就是由于受到挤压应力的作用,不断褶皱、隆升形成的。笔者利用平衡剖面法对龙门山的造山过程进行恢复,并建立构造演化模式。

## 1 大地构造背景

龙门山造山带位于四川盆地与松潘-阿坝地块的结合部位(图1),是扬子板块与羌塘地块在碰撞

**收稿日期**:2007-10-18

**基金项目**:中石化股份有限公司项目(06370502000116)

**作者简介**:李月(1979-),女(汉族),河北沧州人,博士研究生,主要从事构造地质学研究。

万方数据

挤压的过程中逆冲推覆而形成的。由于龙门山造山带在推覆作用形成之前,在地层和构造上与西扬子大陆区有着极大的可对比性,因此前人将龙门山归属于西扬子大陆①。

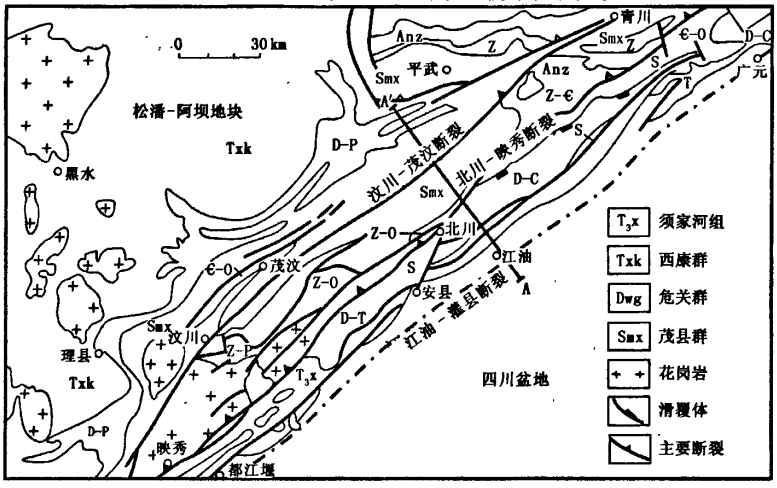


图1 龙门山区域地质略图

西扬子大陆的演化过程可以划分为晋宁期、兴凯期、加里东期、海西期、印支期、燕山期和喜马拉雅期等多个阶段[2]。其中早-中元古代西扬子大陆区经历了大洋盆地的演化过程;中元古代末期大洋盆地关闭,进入陆壳形成演化阶段。兴凯期是一个由活动型转变为稳定型的泛扬子大陆演化期。加里东期泛扬子大陆开始解体,出现裂谷、台地和古陆并列演化的局面。海西期进入到一个相对稳定的演化时期,早海西期呈现为台地和海槽相间的格局;晚海西期则进入到一个新的泛台地演化时期,沉积建造主要为一套广海台地型生物碎屑碳酸盐岩建造。早印支期在海西期泛扬子台地演化的基础上表现出不同程度的活动性,呈现出槽台相间的格局;晚印支期全面结束了整个西秦岭和巴颜喀拉及义敦区海槽演化的历史,发生较强烈的晚印支造山运动,导致了西秦岭印支造山带、巴颜喀拉印支造山带、义敦印支造山带和龙门山印支造山带的初步形成。晚印支造山带形成之后,在侏罗纪和白垩纪时期经历了较大规模的岩浆活动和局限分布的陆内断陷盆地,但其均不同程度地受控于印支造山带形成的基本构造格架,尤其是区域性断裂对岩浆活动和沉积盆地展布的控制特别明显。早喜马拉雅期主要表现为造山带被夷平和伸展断陷;晚喜马拉雅期主要表现为较大规模的逆冲-推覆作用和青藏高原的初步形成[3]。

## 2 野外地质调查

在了解前人工作的基础上,2006年9月笔者一行10余人在龙门山地区进行了为期1个月的野外地质考察。图2是根据野外地质考察取得的资料绘制的地质剖面,该剖面的位置如图1中A-A'。龙门山造山带主要发育3条断裂(图1):汶川-茂汶断裂、北川-映秀断裂、江油-灌县断裂[4]。

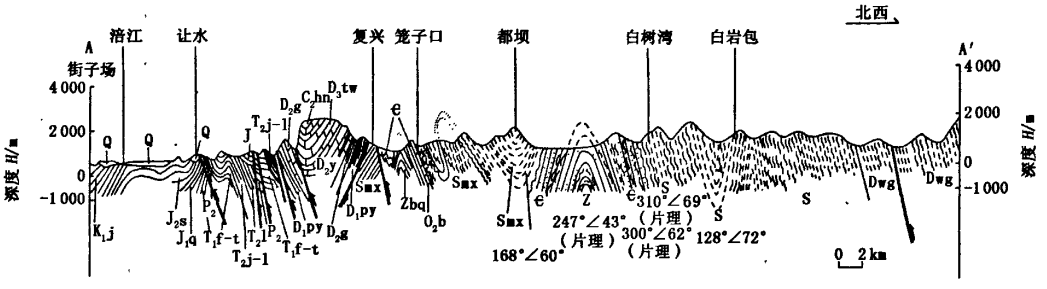


图2 龙门山地区野外地质剖面

通过野外观察发现,龙门山造山带岩层基本均已变质成为板岩、千枚岩,特别是下古生界地层变

①杨恒书,陈明.松潘-阿坝及邻区地层划分对比研究报告.四川省地矿局川西北地质队,2003.

万方数据

形、变质更为严重,地层倒转,大量的层内以及层间褶皱、片理的发育更加证实了这一点,并且原始岩层面 $S_0$ 均已被 $S_1$ 面理置换,甚至有些变质深的区域发育多组面理,并且在靠近断裂的位置变质作用加深,越远离断层变质越浅。这和野外向导杨恒书教授①介绍的该区变质岩均属于动力变质作用相吻合。

## 3 动力学机制探讨

龙门山位于松潘-阿坝地块的东部(图1),属于扬子板块的西延部分。在西秦岭、羌塘及扬子板块共同挤压作用下形成松潘-阿坝三角形地体[5](图3)。由于这3个方向的挤压应力作用,使得内部松潘地块具有向四周的挤压力。

龙门山在晚三叠世晚期开始逆冲推覆造山,在这之前由于特提斯洋的裂解主要受到拉张力的作用,龙门山前山断裂在拉张的过程中最先形成,之后由于受到挤压应力作用而转变为逆断层。根据力的传递原理,位于龙门山西部边界的汶川-茂汶断裂首先转变为逆断层,之后向东传递。因此,虽然前山断裂最先形成,但是其活动时期却是最晚的。

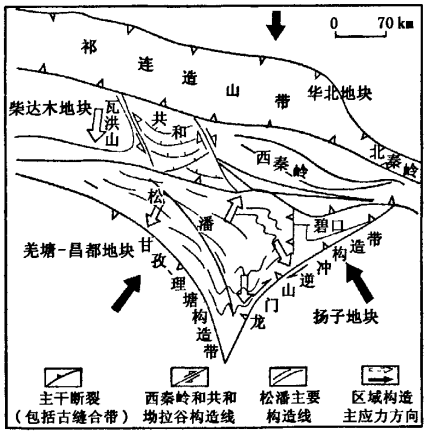


图3　龙门山受力图(据张国伟修改)

龙门山及松潘-甘孜地区由于受到来自东南方向巨厚刚性的扬子板块和西部青藏板块的挤压,具有浅部向扬子板块仰冲、深部向下俯冲的性质,使得扬子板块形成一个楔子插入龙门山内部[6-7](图4)。

三叠纪末期之后,龙门山造山动力的来源方向前人存在分歧:一种观点认为三叠纪末动力来源方向发生了变化,不再是来源于西侧地块的碰撞,而主要是受东南古太平洋板块推挤的影响,迫使扬子板块向龙门山区俯冲,燕山期仍继承印支期的动力来源[8];另一种观点则认为龙门山逆冲推覆隆升成山直至后来的改造,其动力均来源于北西方向的压应力[9]。通过对现今龙门山构造形式的分析研究,笔者同意第一种观点,认为在晚三叠世末期造成龙门山逆冲推覆的动力来源主要为东南方向的太平洋板块的推挤作用。

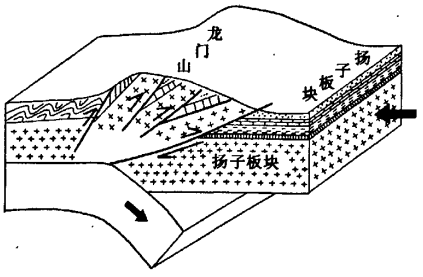


图4　龙门山与扬子板块相互作用关系模式

## 4 构造演化模式

受西扬子大陆演化以及青藏高原向东挤压力的影响,龙门山地块在晚三叠世末(印支晚期)开始向东逆冲推覆隆起成山,燕山期龙门山造山带继续上升,喜玛拉雅期由于隆起褶皱成山,导致特提斯成分向东南和东北方向产生强烈冲断推覆,使龙门山浅部遭受新的强烈挤压,早期已初具规模的断裂产生大幅度的向东冲断推覆,使推覆作用达到高峰并在东部形成新的冲断层。这一强烈挤压使龙门山区以几大断裂为界的块体产生由西北向东南的强烈推覆作用和稍后的滑覆作用,形成了现今展布的几大推覆构造带[10]。

通过野外地质工作研究,结合大地构造背景以及龙门山造山的动力学机制,建立了龙门山构造演化模式(图5)。

图5(a)为早古生代—晚三叠世整个扬子板块受拉张力作用阶段,自加里东运动开始,在稳定斜坡上发生拉张断陷形成龙门山裂陷槽,志留纪开始形成龙门山断裂的雏形,该断裂此时为正断层。海西期转为稳定演化阶段,直至中、晚二叠世之交的东吴运动的发生,使龙门山彻底从西扬子分离出来,转入独立的构造演化阶段,这一拉张过程一直持续到中三叠世末期。图5(b)~(d)为龙门山的抬升和推覆构造形成阶段。从晚三叠世(印支中—晚期)开始,由于受来自北西向羌塘地块俯冲作用的影响,龙门山开始逆冲推覆褶皱造山,在此过程中龙门山后山断裂首先活动形成逆断层,然后逐渐向前山过渡,先前的正断层发生反转成为逆断层。图5(e)为三叠纪末期(印支晚期)龙门山推覆构造的主要形成

万方数据

阶段,在该阶段,受东南古太平洋板块的影响,来自北西向的作用力逐渐减弱,南东侧扬子板块的作用力增强,在该力的作用下龙门山造山带进一步隆升,刚性的扬子板块向塑性的龙门山碰撞挤压,形成了近似于现今的构造形态。燕山期与喜玛拉雅期为龙门山的进一步推覆、滑覆形成阶段[11-13],该阶段的推覆主要表现为龙门山造山带几条主要断裂的进一步推覆活动,在推覆构造活动加剧的同时,由于重力作用,使被推到高处的不稳定岩体大量下滑,形成滑覆体和推覆体叠加的构造格局,最终演化为现今的构造样式(图5(e))。

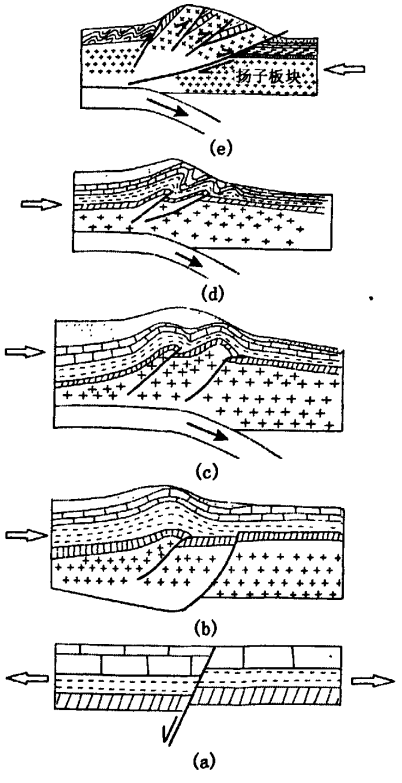


图5 龙门山构造演化模式(据郭正吾等修改)

## 5 结 论

(1)在龙门山造山之前,龙门山和扬子板块为一整体,志留纪开始由于龙门山裂陷槽的闭合,形成了龙门山前山断裂雏形,且为正断层性质,中、晚二叠世之交的东吴运动使龙门山进入独立演化阶段,直至中三叠世末期仍处于拉张阶段,印支晚期的逆冲推覆作用使其反转为逆断层。

(2)龙门山的主要造山期为印支晚期,造山初期主要受到北西方向青藏高原挤压力的作用,后期主要受到扬子板块的俯冲,使得龙门山造山带逆冲推覆在扬子板块之上,燕山期基本继承了印支期的特征继续隆升,喜玛拉雅期进一步改造并最终定型,形成现今的龙门山样式。

(3)龙门山的形成初期主要是一个逆冲推覆的过程,喜玛拉雅定型期除了逆冲推覆之外,早先被逆冲推覆上来的不稳定岩体由于重力作用发生了滑覆,形成了推覆体与滑覆体共同存在的龙门山。

**参考文献:**

[1] 戴传固, 王尚彦, 边申武, 等. 造山带构造分析原理、方法及实践——以南昆仑造山带西段为例[M]. 北京: 地质出版社, 2004.

[2] 林茂炳. 初论陆内造山带的造山模式[J]. 四川地质学报, 1996,16(3):193-198.
LIN Mao-bing. A primary discussion on the orogenic model for inner continental orogenic belts[J]. Acta Geologica Sichuan, 1996,16(3):193-198.

[3] 杨克明, 朱彤, 何鲤. 龙门山逆冲推覆带构造特征及勘探潜力分析[J]. 石油实验地质, 2003,25(6):685-700.
YANG Ke-ming, ZHU Tong, HE Li. Structural characteristics and exploration potential of the thrust block in Longmenshan[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003,25(6):685-700.

[4] 马永旺, 杨尽. 龙门山中段推覆构造的变形特征[J]. 成都理工大学学报, 2001,28(3):236-240.
MA Yong-wang, YANG Jin. Tectonic deformation of the nappe tectonic in the middle Longmen mountains[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001,28(3):236-240.

[5] 张国伟, 郭安林, 姚安平. 中国大陆构造中的西秦岭-松潘大陆构造结[J]. 地学前缘, 2004,11(3):23-32.
ZHANG Guo-wei, GUO An-lin, YAO An-ping. Western Qinling-Songpan continental tectonic node in China's continental tectonics[J]. Earth Science Frontiers, 2004,11(3):23-32.

[6] 蔡学林, 魏显贵, 刘援朝, 等. 论楔入造山作用——以龙门山造山带为例[J]. 四川地质学报, 1996,16(2):97-102.
CAI Xue-lin, WEI Xian-gui, LIU Yuan-chao, et al. On wedge-in opogeny—on the example of the Longmenshan orogenic belt[J]. Acta Geologica Sichuan, 1996,16(2):97-102.

(下转第20页)

万方数据

Relationship between pore variation of reservoir and rebounding of sandstone during uplift and its application to the Daqing Oilfield[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2004,29(4):420-426.

[11] 田丰华,姜振学, 张晓波,等.地层抬升剥蚀对油气成藏贡献初探[J]. 地质学报,2007,81(2),273-279.
TIAN Feng-hua, JIANG Zhen-xue, ZHANG Xiao-bo, et al. Preliminary study on contribution of uplift-erosion to oil and gas accumulation[J]. Acta Geology Sinica, 2007,81(2),273-279.

[12] 大庆油田石油地质志编写组.中国石油地质志(卷二)[M].北京:石油工业出版社,1987.

[13] 王飞宇,郝石生,雷加锦.砂岩储层中自生伊利石定年分析油气藏形成期[J].石油学报,1998,19(2):40-43.
WANG Fei-yu, HAO Shi-sheng, LEI Jia-jin. The isotopic dating of authigenic illite and timing of hydrocarbon fluid emplacementin sandstone reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica,1998,19(2):40-43.

[14] 关德范.大庆长垣成因及油气生成条件探讨[J].大庆石油学院报,1981,5(1):11-22.
GUAN De-fan. Discussion of evolvement of Daqing placanticline and its hydrocarbon-generation conditions[J]. Journal of Daqing Shiyou University, 1981,5(1):11-22.

[15] 冯增昭.沉积岩石学(上册)[M].北京:石油工业出版社,1993:99.

[16] 谢富仁,陈群策,崔效峰,等.中国大陆地壳应力环境研究[M].北京:地质出版社,2003:234-239.

[17] 周建勋,漆家福,童亨茂.盆地构造研究中的砂箱模拟实验方法[M].北京:地震出版社,1999:6.

[18] 姜振学,田丰华,夏淑华.砂体回弹物理模拟实验[J].地质学报,2007,81(2),244-249.
JIANG Zhen-xue, TIAN Feng-hua, XIA Shu-hua. Physical simulation experiments of sandstone rebounding[J]. Acta Geology Sinica, 2007,81(2),244-249.

[19] TERZAGHI K, PECK R B. Soil mechanics in engineering practice[M]. New York :John Wiley & Sons, INC, 1948:566.

[20] 尹伟,吴胜和,王子煜,等. 油气差异泵吸作用机理探讨——以泌阳凹陷为例[J].地学前缘,2003,10(4):619-628.
YIN Wei, WU Sheng-he, WANG Zi-yu, et al. A discussion on the mechanism of petroleum differential pumping function —a case study of the Biyang depression[J]. Earth Science Frontiers, 2003,10(4):619-628.

(编辑 沈玉英)

(上接第15页)

[7] 杨逢清, 殷鸿福, 杨恒书, 等. 松潘甘孜地块与秦岭褶皱带、扬子地台的关系及其发展史[J]. 地质学报, 1994,68(3):208-218.
YANG Feng-qing, YIN Hong-fu, YANG Heng-shu, et al. The Songpan-garze massif: its relationship with the Qinling fold belt and Yangtze platform and development[J]. Acta Geologica Sinica, 1994,68(3):208-218.

[8] 罗志立, 李景明, 刘树根, 等. 中国板块构造和含油气盆地分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.

[9] 陈社发, WILSON C J L, DIRKS P, 等. 龙门山中段推覆构造带及相关构造的演化历史和变形机制(二)[J]. 地震地质, 1994,16(4):413-424.
CHEN She-fa, WILSON C J L, DIRKS P, et al. Deformational characteristics, evolutionary history, and deformation mechanism of the middle Longmenshan thrust-nappes and related tectonics[J]. Seismology and Geology, 1994,16(4):413-424.

[10] 刘和甫, 梁慧社, 蔡立国, 等. 川西龙门山冲断系构造样式与前陆盆地演化[J]. 地质学报, 1994,68(2):101-118.
LIU He-fu, LIANG Hui-she, CAI Li-guo, et al. Structural styles of the Longmenshan thrust belt and evolution of the foreland basin in western Sichuan province, China[J]. Acta Geologica Sinica, 1994,68(2):101-118.

[11] 李月, 周瑶琪, 马永生, 等. 川西北发现喜玛拉雅运动新证据[J]. 地质论评,2007,53(2):227.
LI Yue, ZHOU Yao-qi, MA Yong-sheng, et al. New evidence of Himalaya movementes in the northwest of Sichuan[J]. Geological Review, 2007,53(2):227.

[12] 吴山, 赵兵, 苟宗海, 等. 龙门山中南段构造格局及其形成演化[J]. 矿物岩石, 1999,19(3):82-85.
WU Shan, ZHAO Bing, GOU Zong-hai, et al. The structural framework and its evolution in the middle-south section of Longmen mountains[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1999,19(3):82-85.

[13] 胡新伟, 邓江红. 龙门山中段推覆构造带构造特征[J]. 成都理工学院学报, 1996,23(3):101-106.
HU Xin-wei, DENG Jiang-hong. Structural features of the nappe tectonic belt in the middle Longmen mountains[J]. Journal of Chengdu Institute of Technology, 1996,23(3):101-106.

(编辑 刘艳荣)

万方数据