

龙门山造山带崛起和川西陆前盆地沉降^①

罗志立 龙学明

(成都地质学院)

摘要: 本文从沉积环境、地层古生物来研究龙门山造山带晚三叠世早期以前的组成及地史发展,从同位素地球化学来研究印支期—燕山期的地质热事件,从遥感地质和构造地质来研究变形特征,从重磁电各种物探资料综合解释来研究深部地壳结构,最后得出龙门山造山带岩石圈演化的动力学模式——多层次、多阶段、深层控制浅层变形的陆内俯冲模式,它不同于国内外许多学者对龙门山造山带演化模式的认识,是具有中国特色的C-型(中国型)俯冲造山模式。这个模式的建立不仅具有发展中国陆内构造的理论意义,并将对龙门山造山带寻找金属矿产和扩大川西陆前盆地油气资源有实际指导意义,还将为研究龙门山区南北地震带和青藏高原东部隆起的成因机制提供新的认识。

关键词: 龙门山造山带 川西陆前盆地 稳定大陆边缘 A-型俯冲 C-型俯冲 陆内俯冲 动力学模式

龙门山造山带主要指前龙门山的推覆构造带,它北起广元、南达天全,全长约500km、宽约30km。位于扬子准地台和松潘—甘孜褶皱系分界线上^[1],北东与秦岭褶皱系相交,南西与康滇地轴相截,在中国大地构造上处于关键地位。龙门山造山带具典型推覆构造特征,是中国推覆构造带勘探油气的重要领域;龙门山后山带不仅是南北地震带经过地区和四川灾害地质发育的场所,而且是有色金属与贵金属矿产的富集地。为研究需要,本文也涉及龙门后山带的松潘—甘孜褶皱系。

龙门山造山带的地质研究工作已达半个多世纪。近十年来,许多学者以板块构造观点,解释过龙门山造山带的成因机制,有的认为它不是扬子地台的西界,其西界在金沙江缝合线;有的认为它的运动方式是由西北向东南逆冲,属阿尔卑斯型推覆构造,并控制四川盆地中、新生代以来构造发展,具美国洛矶山式薄皮构造;也有的从地球动力学模式考虑,认为龙门山属A.W.Bally (1975)的A-型俯冲带。这些大相径庭的认识引起国内外许多学者的广泛兴趣。

作者(罗志立,1984)^[2,3]曾提出龙门山冲断带具有中国地质特色,不属A-型俯冲带,而属中国型(C-型)冲断带。最近几年来,又搜集和整理了最新的地质、地球物理和地球化学资料,从地史演化与构造变形相结合、地质与地球物理综合解释相结合、浅层变形与深层构造研究相结合、龙门山的崛起与川西陆前盆地沉降相结合

^①本课题为“七五”国家重点科技攻关和国家自然科学基金资助项目

的研究思路,深化了对龙门山冲断带为C-型冲断带的认识,并根据它的动力学特征,提出“多层次、多阶段、深层控制浅层变形的陆内俯冲模式”。不当之处,请读者指正。

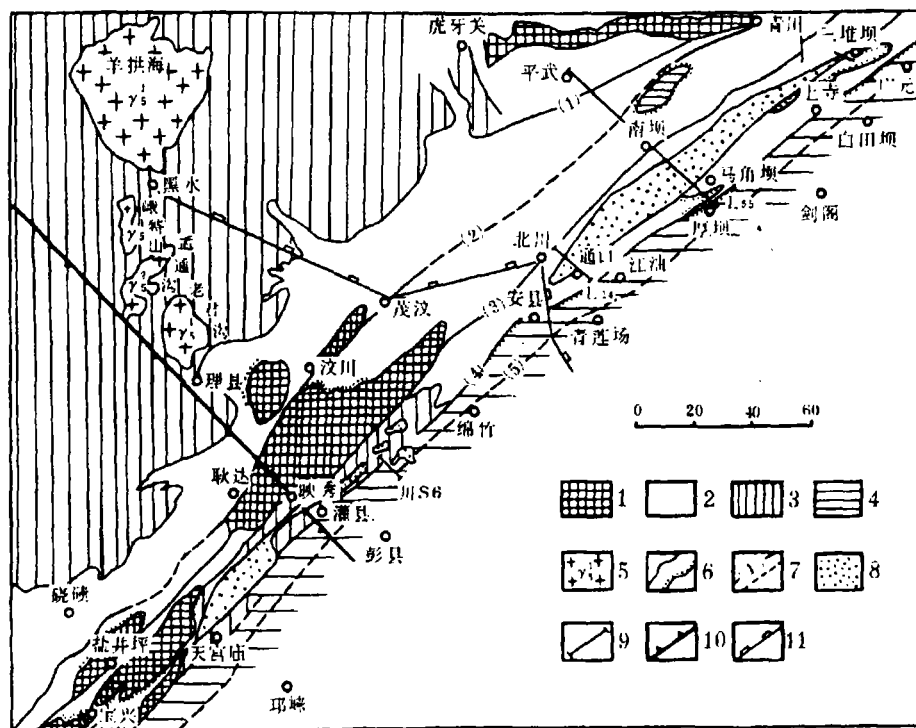


图1 龙门山造山带及邻区地质略图

1—前震旦系结晶基底; 2—古生界(包括震旦系及中下三叠统); 3—上三叠统; 4—侏罗系—下第三系; 5—中生代花岗岩; 6—地层界线、不整合线; 7—主干断裂及编号: (1) 平武—青川断裂; (2) 汶川—藏汶—青川断裂; (3) 映秀—北川断裂; (4) 灌县—安县断裂; (5) 山前潜伏断裂。8—滑覆体; 9—地震测线及编号; 10—大地电磁测深剖面; 11—深部地壳测深剖面。

一、龙门山造山带三叠纪前的构造格局

(一) 龙门山基底的大地构造属性

散布于后龙门山区的前震旦系角闪岩系结晶基底(图1)其时代和岩石组合均可与川中女基井和威28井揭示的基底对比^[4],也可与川西南的苏雄组对比。如彭灌杂岩体由变质酸性、基性火山岩、火山碎屑岩和变质沉积岩的黄水河群及侵入岩组成。侵入岩的同位素年龄一组为647~776ma(K-Ar法),另一组为1043~1017ma(U-Pb法),这些结晶基底多为震旦系灯影组覆盖,因而许多地学者认为属扬子地台的西北延伸部分,其大地构造属性应为扬子地台的产物,故提出“大扬子地台”的概念。但在这些杂岩体上,有的被奥陶系超覆,如雪隆包杂岩体;有的被二叠系覆盖,如宝兴杂

岩体;其间又被厚度巨大的志留系茂县群分隔,如轿子顶杂岩体,又显示孤立分布的特征。我们曾对轿子顶和茂汶杂岩体引起的磁异常作向上延拓计算,上延 9km 还有显示,但上延 21km 则消失,显示为无根岩体的特征。表明这些杂岩体在早古生代属扬子大陆稳定边缘基底,后经张裂向洋离散成为分离的微陆块,再经三叠纪晚期以来的冲断推覆而成目前格局。因而也暗示龙门山造山带后山区并不存在完整的扬子地台基底潜伏部分,仅保留一些分离的微陆块。

(二) 晚古生代至晚三叠世早期,龙门山发生过地裂运动

作者(罗志立,1981年)曾论述过扬子地台西南缘发生过峨眉地裂运动,近年来的研究,也初步证明龙门山区也有过类似的运动。

1. 岩石学方面的依据

龙门山北段的泥盆系,以唐王寨为沉积中心,最厚可达 6000m,向南西方向缺失下统和中统下部,厚约 3500m,向东北广元朝天驿厚 41m,向东到河湾场构造的河深 1 井减薄仅 10m。这一北东向沉积凸镜体的展布,显示其菱形断陷的沉积背景。杨文杰等(1988)^①认为“是在稳定大西洋型的被动大陆边缘砂质滨岸沉积基础上,发展起来的浅水碳酸盐台地”。如果与后龙门山区冒地槽型的危关群(Dwg)对比,显示泥盆系水体由东南向西北加深,从碳酸盐台地到大陆斜坡深水沉积的变化。

到了二叠纪,地裂运动更为显著。在龙门山北段的广元,早二叠茅口组出现深水硅质岩类的孤峰组,晚二叠世出现富含深水海绵骨针放射虫及假提罗菊石的含硅质的大隆组^[5]。在龙门山中南段,沿茂汶断裂带出现早二叠世的斜坡碎屑重力流沉积,晚二叠世在宝兴和汶川的大石包组出现海底枕状玄武岩喷发等。

进入三叠纪,后龙门山发生大规模的拉张裂陷,其间分布有阿尼玛卿、道孚-康定、甘孜-理塘等北西向小洋盆。前龙门山晚三叠世的马鞍塘组在浅海陆棚背景上出现深水硅质海绵礁群。并在江油仰天窝向斜等地出现十余条辉绿岩脉,化学成分和稀土元素与峨眉山玄武岩类似,同位素年龄为 $195.26 \pm 3.15\text{ma}$ 。

上述事实说明,龙门山造山带在晚古生代至晚三叠世早期的大地构造背景,处于扬子地台西延的稳定大陆边缘上,由东向西从大陆架向大陆斜坡发展。在大陆架上由于地裂运动;出现了许多同沉积断块和断槽,断槽中出现深水相沉积,如孤峰组和大隆组。断块上出现不同时期的超覆沉积,如天井山背斜有上泥盆统超覆沉积在寒武系之上等。

2. 平衡横剖面的恢复

扬子地台西北缘,在晚三叠世以前为伸入古特提斯洋的稳定大陆边缘。从图 2 可看出,由扬子地台(参考点 A)到西北缘(参考点 A')的志留系、泥盆系和上三叠统下部的厚度显著加大,导致地壳下弯,并被许多北东向的同沉积断层切割,有的断层切入基底,如 4、5 号断层(分别相当灌县-安县和映秀-北川断层)。据计算,地壳缩短率为 42%,唐王寨向斜的巨厚的泥盆系是从 5 号断层以西推覆至现今位置的,推覆距离约 40km。值得注意的是这些向西北倾又切割基底的同沉积断层,成为印支期以来反转为向东南逆冲断裂的基础。

①杨文杰、洪庆玉:龙门山唐王寨地区逆冲推覆体沉积学研究,1988年。

多数岩体形成于印支期末, 同位素年龄为 196—206Ma, 少数岩体形成于燕山期, 同位素年龄为 152—164Ma。燕山期的岩体有靠近西侧分布的趋势, 如年保也则岩体。

表 1 龙门山区印支期—燕山期主要岩体形成温度、压力、深度估算表

岩体名称	Bi-Amp 中 Ti、Mg 分 配估算温度 (℃)	氧同位素 温度计 (℃)	锆石晶形 分类法 计算温度 (℃)	Ab-Or-Q-H ₂ O 体系			Bi-Amp 中 Al 分配 估算压力 (kbar)
				温度 (℃)	压力 (kbar)	深度 (km)	
老君沟	600	509	650—850 主要为 800	700—800	> 3	> 12	2.5
峨特山	—	—	650—850 主要为 800—850	750—800	> 3	> 12	—
羊拱海	—	—	650—850 以 650—700 为主	700—750	1—3	4—12	—
孟通沟	—	—	600—850 以 600 为主	700 或 < 700	2—3	8—12	—
年保也则	—	—	—	700—759	3	12±	—

同时, 采用黑体云母—角闪石矿物中的 Mg 和 Ti 元素分配计算法、石英—磁铁矿同位素温度计、锆石形态分类法对岩体形成温度进行研究, 并用 Ab-Or-Q-H₂O 共结体系估算温度、压力和深度, 结果列于表 1。

从印支期的老君沟→峨特山→羊拱海岩体由东向西排列, 其化学元素分布也有变化, 由东向西 SiO₂、K/Na、ΣREE、⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 逐渐增加, 岩浆分异指数相应变好, 而 CaO 和 δEu 减小。燕山期的孟通沟岩体到年保也则岩体, 化学元素也有类似的变化。以上说明本区岩浆混染的壳源物质由东向西增加, 表明岩浆来源的深度有由东向西增加的趋势。因而推测龙门山区地腹可能存在由东向西倾斜的构造带, 这与该区在 20km 左右存在大地电磁低阻层和地震测深的低速层可以对应。

我们引用 Armstrong (1966) 和 Harper (1967) 提出的冷却年龄理

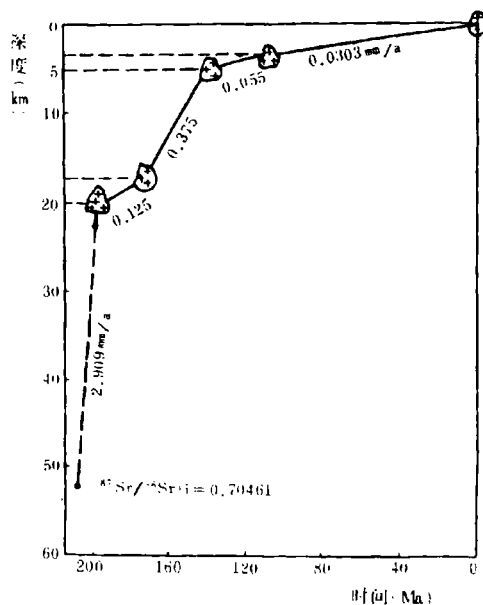


图 3 老君沟岩体上升隆起曲线图

论,重点研究老君沟等岩体用不同方法测得的年龄值,得出岩体冷却年龄曲线,再换算成对应的深度,由此得出老君沟岩体上升的曲线(图3)。根据曲线可划分为4个阶段。

第一阶段(210~196Ma):相当晚三叠世,来自下地壳或上地幔的岩浆(初始 $\epsilon_{\text{0.70461}}$),在地壳深处(>50km)开始结晶,并以2.909mm/a速度迅速上升,侵位在20km处的深部地壳结晶成岩体。

第二阶段(196—172Ma):相当中晚侏罗世,已结晶的花岗岩以0.125mm/a较缓慢的速度随地壳抬升。

第三阶段(172—140Ma):相当中晚侏罗世,岩体以0.375mm/a速度又迅速上升。

第四阶段(140Ma至现代):相当白垩纪至今,以0.055~0.0303mm/a速度缓慢上升。

从上述老君沟岩体上升速度的估算,可见后龙门山地壳隆起的不均匀性。晚三叠世后龙门山总的上隆约20km,其中晚三叠世晚期和中晚侏罗世上隆较快。这与川西陆前盆地沉降的速率的不均衡性也是对应的。

综上所述,可看出印支中幕以后,后龙门山发生过一次地质热事件,约在深度为50km和温度为800℃左右处的下地壳或上地幔发生岩浆源,随其后龙门山的隆起,迅速上升,侵位在20km处的深部地壳固结成岩体,当时温度约650℃。印支晚幕以后不均匀地上隆。这个高温岩浆岩带的不断上隆,对地壳产生的热膨胀作用和侧向推挤作用,为前龙门山逆冲带由西北向东南推挤提供了部分热动力条件。再从岩体的地球化学元素由东向西有规律的变化,反映下地壳或上地幔可能存在由东向西倾斜的深部构造带,导致岩浆源的产生和分异。这一认识被后述和深部地球物理资料所支持。

(二) 前龙门山推覆构造带的变形特征

1. 主干断裂带控制区内推覆构造发育

龙门山构造带的主要变形期发生在须家河组(T_3^3)沉积后的印支晚幕,导致龙门山的崛起,白田坝组(J_1)普遍不整合在须家河组地层上。由西向东有5条主干断裂带(见图1)控制着区内变形特征。

这些断裂带的走向除平武—青川断裂为北东向外,其余均为北北东向,以逆冲断层为主,总体倾向北西,上陡、下缓,具铲式特征,且从西北向东南由韧性到脆韧性再到脆性递变的趋势。这些断裂变形特征,反映断裂带发育的序次由西北向东南逐渐变新,成“背驮式”向盆地发展。断层切割深度上存在差异,有的沿志留系页岩、三叠系膏盐层和须家河组煤系地层滑脱,有的切割很深,甚至卷入基底。因而这些主干断层形成的推覆构造,具多层次滑脱和“厚皮构造”特征。

2. 龙门山造山带变形基本模式——推覆构造与滑覆构造叠加

我们对龙门山中北段 L_{55} 、 L_{14} 和S-6三条地震测线平衡横剖面的综合解释(图4),其缩短率分别为42%、63%和43%,并参考航磁判断杂岩体“生根”情况,证实上述5条主干断裂带控制的断层上盘的杂岩体,并非原地杂岩体而是经过一定位移的外来推覆体。遵循对推覆体的命名法,据外来推覆体下方赖以运动的断层名称来命名,由西北向东南划分出5个推覆体:(1)平武—青川推覆体;(2)汶川—茂汶推覆

体; (3) 灌县-安县-广元推覆体; (4) 映秀-北川推覆体; (5) 盆地边缘潜伏推覆体。

从推覆体暴露的岩石学和构造变形特征, 前三个为地壳较深层次的早期变形的推覆体, 后两个为浅层次晚期变形的产物。

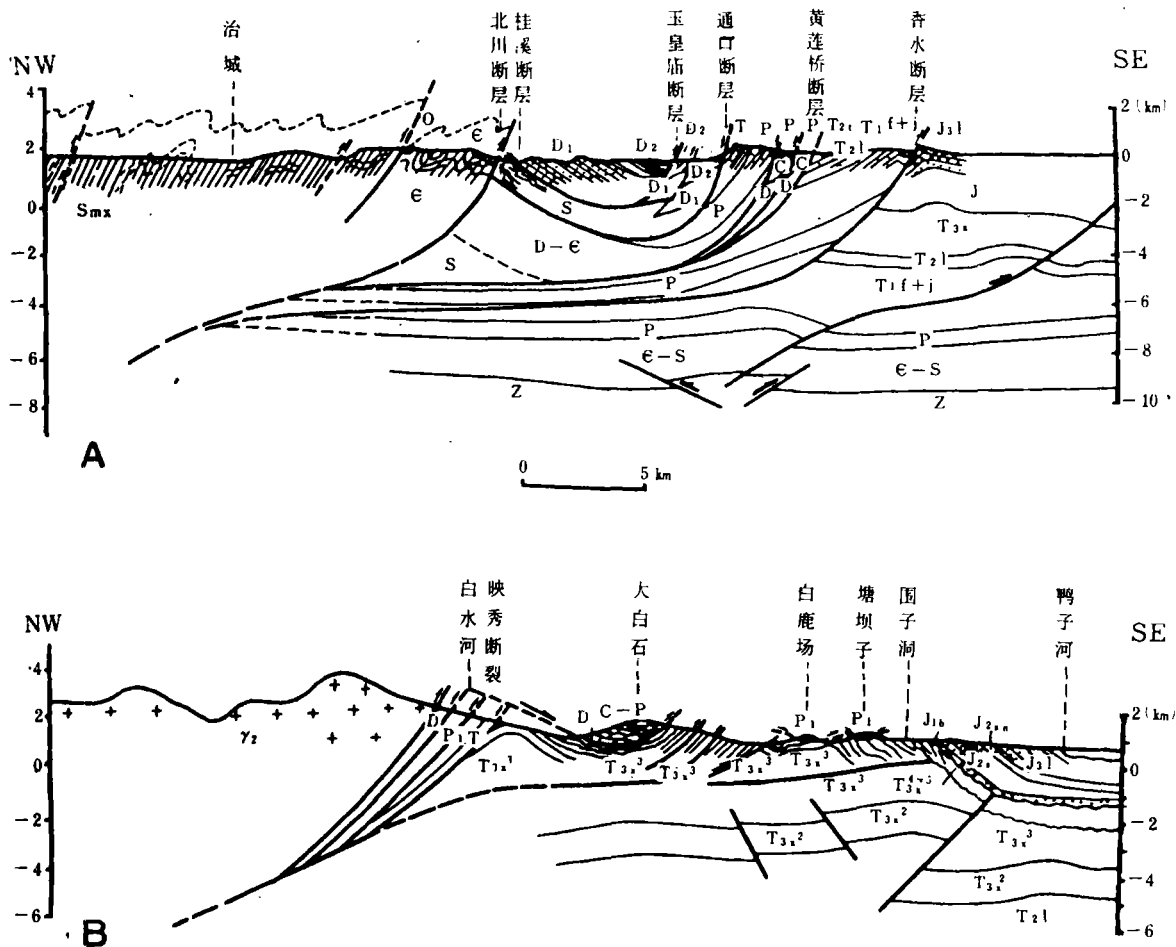


图4 龙门山地震地质综合解释横剖面图

A. L₁₄地震测线香水-北川-小坝地质综合解释剖面图

B. S-6地震测线鸭子河-汶川地质综合解释剖面图

我们注意到龙门山许多外来岩块, 并非完全由挤压作用所形成, 有的系沿断层面由于重力伸展作用形成的滑覆体^[6]。映秀-北川断裂带东南侧, 从东北向西南存在4个滑覆体群: (1) 广元三堆坝滑覆体群; (2) 江油唐王寨滑覆体群; (3) 彭县-灌县滑覆体群 (常称的飞来峰); (4) 宝兴-芦山滑覆体群。

上述资料表明, 龙门山构造变形特点, 不仅有因地壳受挤压而收缩形成推覆构造, 还有因重力伸展形成的滑覆构造, 推覆与滑覆构造的叠加构成了龙门山造山带变形的基本模式, 造成叠障起伏、巍峨雄伟的龙门山。

(三) 川西陆前盆地沉降

龙门山造山从晚三叠世须家河期逐步抬升变为剥蚀的物源区, 在它东部相应发生陆前盆地沉降, 若从须家河组开始两区持平算起比较, 川西陆前盆地自须河组开始沉积以来, 至少沉降了 9500m。在这些地层中保留的某些岩石记录, 可反证龙门山区构造演变的某些规律。

1. 川西陆前盆地沉降速率估算 (表 2)

从表 2 得知, 川西陆前盆地 T_3^3 和 J_2s-J_3l 为两次较快的沉降速率, 与前述后龙门山老君沟岩体两次隆起较快的时间是大致对应的 (图 3), 即当岩体代表后龙门山上升速率快时, 川西陆前盆地沉降速率也快。这种对应关系, 反映龙门山区上升是以川西陆前盆地沉降为条件的。川西陆前盆地的沉积负载又促使龙门山区构造活动加强, 不断上升, 互为影响。

表 2

地 层	时代	年代(Ma)	厚度(m)	沉降速率 mm/a
须家河组	T_3^3	197—192	4000	0.8
白田坝组	J_1b	192—171	500	0.02
沙溪庙组—莲花口组	J_2s-J_3l	171—140	3500	0.11
剑门关组—下第三系	K—E	140—25	1500	0.01

2. 砾石成分的统计及其来源的判断

(1) 上三叠统须家河组四段底部砾岩, 无论在广元须家河或彭县海窝子剖面, 均以碳酸盐岩砾石为主 (70%以上), 从砾石所含生物化石和岩性判断, 主要来自三叠系, 少数为石炭系—泥盆系。反映当时已有逆冲断层活动, 二叠系大规模剥蚀, 搬运较远, 具有统一物源区的特征, 推测最西的平武—青川断裂带可能已经开始活动。

(2) 下侏罗统的白田坝组砾岩, 分别以剑阁金子山和安县形成两个厚的冲积扇, 厚 260m 和 100m。成分以石英砂岩为主 (88%~100%), 用阴极发光鉴定, 砾石主要来自平驿铺砂岩 (D_1p)。从砾石砾径大, 并组成河口冲积扇, 说明物源较近, 推测唐王寨泥盆系滑覆体已经存在并遭受强烈剥蚀。

(3) 上侏罗统莲花口组砾岩, 剑阁金子山仍为冲积扇体的中心 (厚 500m), 石英质砾石为主 (68%—93%), 主要来自泥盆系和更老地层。安县冲积扇体 (厚 250m) 以灰岩砾石为主 (90%), 主要来自泥盆系—三叠系的碳酸盐岩地层。还可见到少数上三叠统或早侏罗统的陆相砾石。表明推覆构造已向盆内迁移发展, 部分陆相地层已成为剥蚀区。

(4) 下白垩统剑门关砾岩, 仍继承上述两个冲积扇体发育。但在剑阁冲扇中发现有少数前泥盆系磷块岩和花岗闪长岩砾石。可能代表推覆体前缘老地层和基底的暴露。

三、龙门山造山带岩石圈结构特征

(一) 航磁异常反映上地壳结构的分块性

航磁异常分区图上地壳具分块特征,结合地震测深资料确定的深部断层,可得到深部构造分块图(图5)。该图显示本区存在北东向和南北向两组断层,其对应的北东向龙门山推覆构造带,非常清楚,在后龙门山区出现的南北向断层,可能为本区南北地震带的基础。

(二) 正均衡重力异常存在的构造意义

区内重力场总趋势是由扬子地台向龙门山区降底,从成都的 -150mgal 到马尔康的 -385mgal ,平均下降梯度为 -1.04mgal/km 。龙门山造山带仍处于陡变带。我们用艾里模式计算从武胜至久治10个点的平衡异常值,发现安县和茂汶2点为正均衡重力异常,这与孟令顺(1988)计算的龙门山地区为正均衡异常结果一致(孟令顺等,1988)正均衡异常表明壳内存在质量过剩,为达到地壳均衡,按理龙门山推覆构造应该不断下沉,而实际上不仅未下沉反而还在上升,如茂汶附近的九顶山每年还以 $0.3\sim 0.4\text{mm}$ 速度缓慢上升。龙门山推覆构造带深部存在一种支托龙门山不断上升的作用力,结合其它物探资料推测,这种力量可能来源于扬子地台深部岩石圈向龙门山区地腹推挤作用力的结果。

(三) 岩石圈等温线的变异

据李立等(1987)用大地电磁测深资料编制的阿坝至泸州的岩石圈等温度结构图(图6),或我们采用Chapman和Pollak(1977)方法,用岩石圈厚度与温度间的经验关系曲线,从阿坝至北碚计算的岩石圈温度结构图,均显示出剖面通过茂汶、灌县等地,岩石圈等温线成舌状向西下插弯曲的特征,表明扬子地台有向龙门山地腹嵌入趋势。目前地温场尚未达到热平衡,其温度结构特征,有如印度板块向喜马拉雅山俯冲造成等温线变化的格局。

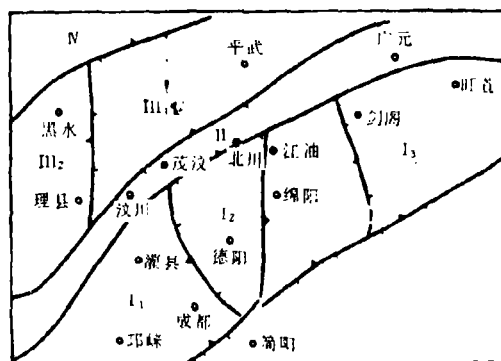


图5 龙门山中北段深部构造分块图

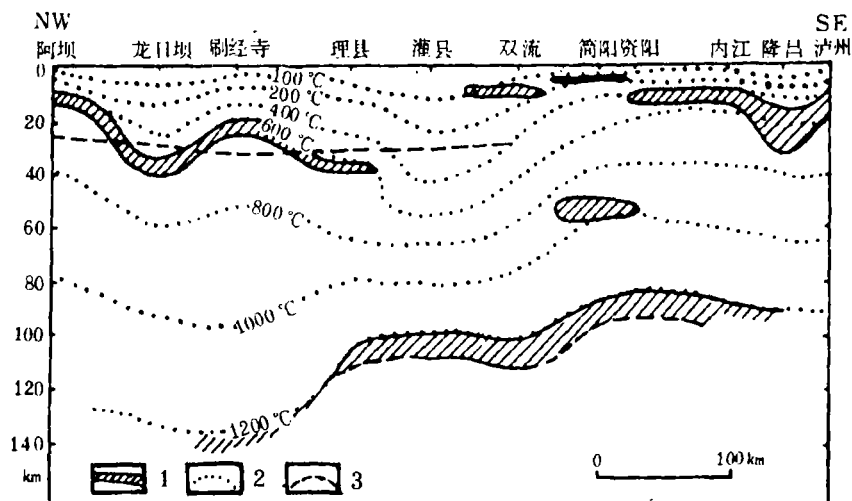


图6 四川阿坝—泸州岩石圈温度结构估算图 (据李立等, 1987)

1—低阻层; 2—等温线; 3—居理面

(四) 地震测深剖面的综合地质解释

据在科院实验地震队近年来完成的湖北邵阳至黑水爆炸地震测深剖面,我们选用四川境内黑水至北碚段研究龙门山构造带,依据地震剖面上解释的断层,联系地表主干断裂带进行综合解释,组构成图7。从图中不仅看出本区地壳结构有分层性,且在下壳层存在深断裂,并在龙门山造山带深处错开莫氏面。

本区地壳结构面分层特征: R_1 ——代表结晶基底顶面,其上为沉积盖层; R_2 ——代表花岗岩层顶面,或结晶基底面; R_3 ——代表花岗岩层底面,或低速层顶面,在大地电磁上反映为低阻层; R_4 ——代表低速层面或玄武岩层顶面(康氏面); R_5 ——代表玄武岩层底面出现的高速薄层; R_6 ——莫氏面。上述各结构面均可作为滑脱面,但据岩石物性和地震及电性特征判断,以 R_1 、 R_3 和 R_6 结构面以及其下的上地幔低速层塑性较强,可能为本区深部结构变动的主滑脱面。

龙门山三条逆冲主干断裂向下延深可与深部断层相连或滑脱消失于塑性层内,构成超壳深的大断裂。如映秀-北川和灌县-安县两条大断裂,向下延伸可能与错断莫氏面的两条深断裂相连;在莫氏面附近并出现 7.8km/s 波速异常;茂汶-汶川断裂向下延伸,在赤不苏地腹延入低速层(R_3)滑脱消失。三者组成一组倾向西北的铲式断裂带。其特征不似在盖层中滑脱的薄皮构造,而是切穿基底以至地壳的厚皮构造,其规模之大可切穿莫氏面进入上地幔成为超壳深大断裂。

(五) 龙门山造山带岩石圈俯冲结构模式

1. 岩石圈俯冲模式的建立

据前述地表构造变形和石油地震解释剖面,以及地震测深剖面和大地电磁测深综合解释剖面,编制出本区岩石圈结构图(图7)。由此可以建立扬子地台岩石圈向龙门山区俯冲的模式。这一模式的建立不仅有地质、地球物理资料等方面的充分依据,还可解释前述印支期-燕山期火成岩体地球化学元素由东向西变化、龙门山区出现的正均衡重力异常,以及地温场舌状异常等地质和地球物理现象。扬子地台岩石圈由东向西俯冲,必然导致下地壳分熔的岩浆逐步由东向西构成倾斜面,混杂的壳源物质增加,时代也逐步变新。扬子地台岩石圈由东向西俯冲所产生的推挤力,就会支持龙门山推覆构造带内过剩的质量,不仅不会下沉达到地壳均衡,而且还不断抬升,形成正均衡异常。由东向西下插的冷壳层,自然会造成异常的地温场,等温线成舌状下插的趋势。扬子地台岩石圈由东向西俯冲的构造格局,可能成为青藏高原东部抬升的原因。

2. 扬子地台深层俯冲结构与龙门山造山带浅层逆冲推覆构造模式的统一

扬子地台的岩石圈由东向西俯冲的这种构造局势必影响驮负其上的岩石圈由东向西移动,遇到高势态龙门山区受阻后,沿前述壳内多层塑性层(R_1 、 R_3 、 R_6)发生层圈滑脱,首先错断莫氏面,当莫氏面错断叠置缩短(川中无此现象),又会影响到上地壳塑-脆性层发生复杂变形,导致龙门山浅层次的地壳由西向东逆冲,形成逆冲推覆构造。构成龙门山深层俯冲和浅层相对逆冲的统一模式。但若从动力学来看,引起龙门山推覆构造发生的动力作用,主要来于东南方向,浅层推覆构造变形是深层俯冲作用造成的结果。

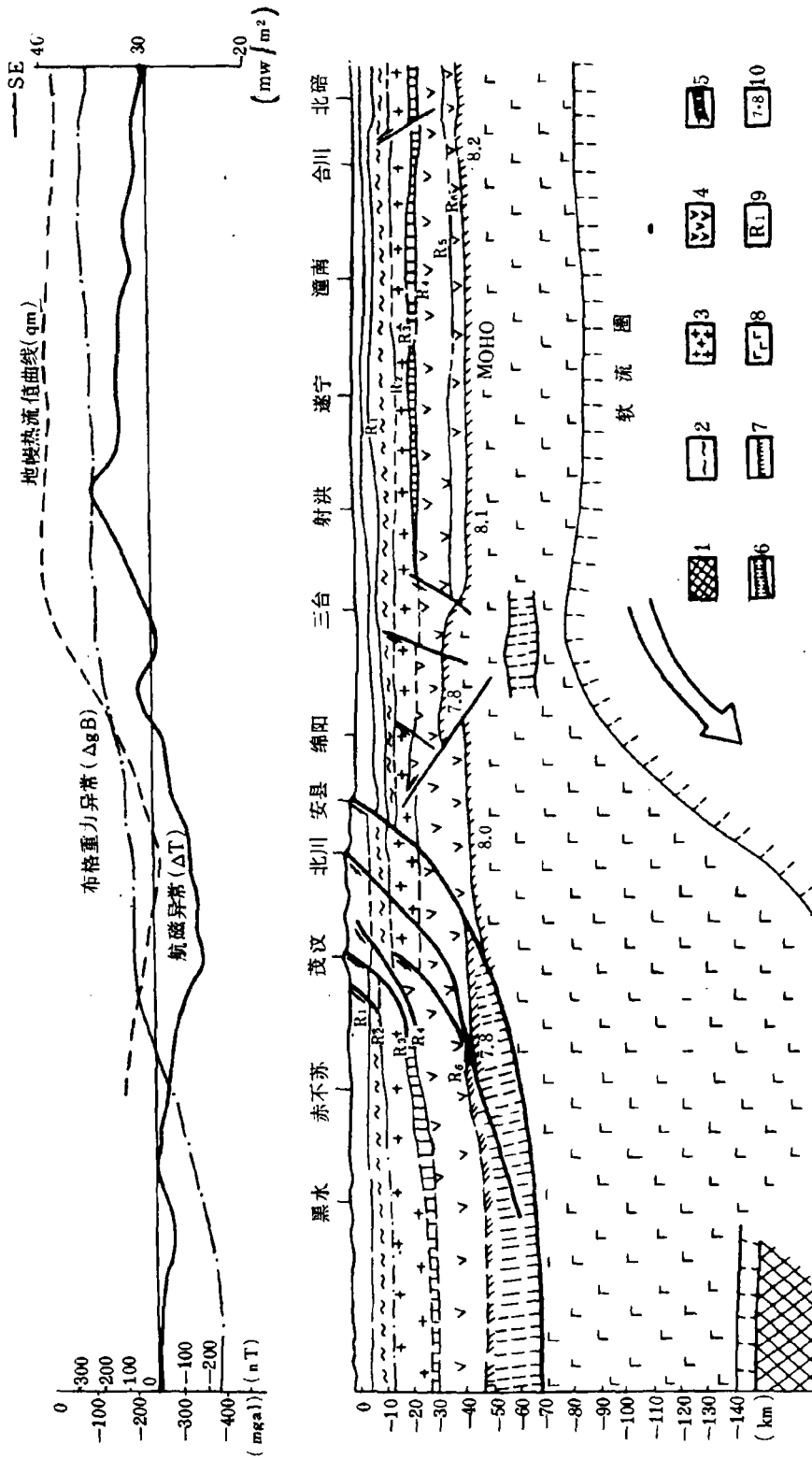


图7 龙门山造山带岩石圈结构图

1—类地壳“上地幔”；2—结晶基底；3—花岗岩层；4—玄武岩层；5—壳内塑性层；6—上地幔低速层；7—莫霍面；8—上地幔顶部；9—代表地壳结构面；10—地震P波速度 (km/s)

四 龙门山造山带的动力学演化模式

龙门山造山带动力演化,涉及秦岭地槽的关闭、古特提斯洋的演化、青藏高原的隆起和四川盆地形成等重大地质问题。虽然以往对龙门山区的动力学模式,不少学者作过许多探讨,但因缺乏地壳深部地球物理和岩体的地球化学资料,而未能从龙门山造山带的形成与相邻构造单元的整体上进行分析。我们在前述地史发展、构造变形、深部地壳结构研究的基础上,联系与龙门山推覆构造相邻的构造单元的关系进行讨论,从地壳物质在时、空演化的角度,提出一个动态变动的演化模式,意图加深对龙门山推覆构造复杂地质问题的认识,为研究油气勘探及其它地质问题提供一个基本构造框架,为将来完善地质构造模型打下基础。

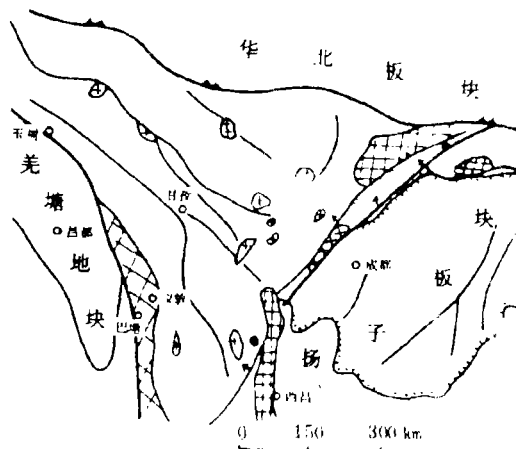


图8 龙门山推覆构造与邻区构造单元示意图

龙门山造山带动力学演化机制,在空间上涉及邻区大地构造单元的演化,其关系如图8所示。在时间上的演化,可分为五个阶段。

(一) 稳定大陆边缘发展阶段 (T_2 前)

在晚三叠世卡尼克—诺尼克期以前,龙门山区(包括甘孜—阿坝地区)属稳定大陆边缘发展阶段,见图9-A。

从震旦系到下古生界总的沉积特征是由东南向西北从陆棚相到盆地相的沉积背景,大陆架局部地势有起伏,一些地区显示古隆起的特征,如天井山出现的泥盆系与寒武系假整合接触。在这个向西北倾斜的稳定大陆架上,自然会发生一些西北倾的同沉积断层,这些断层就是后期龙门山5条主干断裂发育的雏型。

早泥盆世有滨岸相的断陷沉积二叠纪到三叠世,有玄武岩喷发和深水相放射虫硅质岩沉积。晚三叠世早期有深水硅质海绵礁群和碳酸盐重力流,以及大量的辉绿岩脉侵入到唐王寨泥盆纪地层中,这些均说明峨眉地裂运动在本区存在。这个阶段,扬子地台北缘以秦岭大洋为界,其分界线可能在阿尼玛卿缝合线,其西北缘以稳定大陆边缘伸入古特提斯洋。

(二) 边缘海发育阶段 (T_2 末)

中三叠世末,扬子板块与华北板块碰撞,秦岭地槽关闭,松潘—甘孜三角形的中生代地槽的北界已经形成,近北东向摩天岭和白龙江复背斜也于此时形成^①。青川断裂可能开始活动。扬子板块上的海水由东向西撤退,三角形地槽的东界已露端倪。与此同时或稍后,青藏地区的羌塘地块及其前缘洋壳,沿金沙江俯冲,在义敦—中咱地区

① 李小壮: 秦巴地区南亚带几个区域地质问题, 1990年。

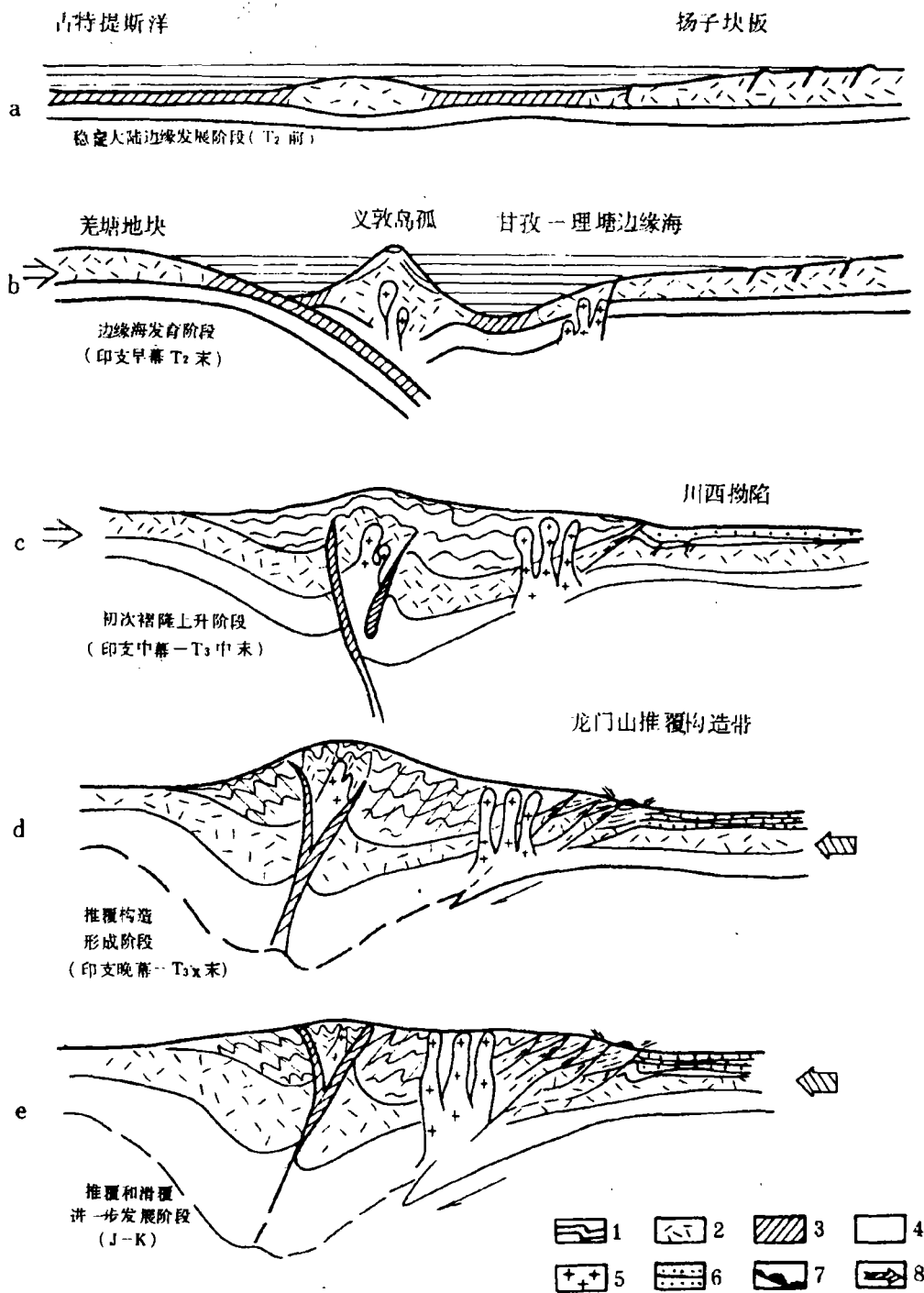


图9 龙门山造山带和川西陆前盆地动力学演化模式示意图

1—沉积层及褶皱；2—陆壳；3—洋壳或过渡壳；4—上部地幔；5—印支—燕山期花岗岩；6— T_{33} —K 陆相地层；7—滑覆体；8—邻区板块运动方向

微陆块基础上形成一个岛弧, 构成三角形地槽的西界。这时的甘孜-阿坝地区, 成为义敦岛弧后的三角形边缘海盆, 见图 9-B。其间沉积了巨厚的晚三叠世的复理石沉积(西康群), 海水向东漫侵到龙门山区, 形成时代略同的垮洪洞组和小塘子组海相地层。

因羌塘地块的俯冲, 导致甘孜-阿坝地区边缘海盆的形成, 必然会使该区地壳下弯, 再加上厚达万米西康群的沉积负载, 一定会影响深部地壳结构的改变, 前期的稳定大陆边缘将转换成边缘海盆的地壳结构。推测这时龙门山断裂西侧的岩石圈在前期同沉积断裂基础上发生破裂而下掉, 软流圈产生的岩浆源, 沿破裂带向上迁移, 一方面使下地壳的玄武岩层加厚, 另一方面分异出来的岩浆源不断上升, 成为印支期和燕山期中性幔源岩浆的来源地。这时的龙门山断裂带两侧的深部地壳结构成为东高西低失稳的态势, 具备了由东向西下插的局面。

(三) 初次褶皱上升阶段 (T_3 中)

晚三叠世早期垮洪洞组和小塘子组沉积后, 羌塘地块的后续俯冲 (Subsidiary Subduction) 沿金沙江俯冲带继续推进, 以致碰撞^[7] 迫使甘孜-阿坝地区的海水向南撤退, 结束海侵历史。随着羌塘地块的碰撞, 羊拱海等花岗岩体快速上升, 巨厚的西康群也随之隆褶上升, 成为青藏高原东部的雏形 (图 9-C)。

这时龙门山区地壳已由洋壳或过渡壳完全转变为陆壳, 中三叠世以前稳定大陆边缘存在西北倾的同沉积断裂 (如青川断裂), 可能因龙门山区的初始隆起, 反转为向东南推挤的逆冲断层, 前震旦系的碧口群等因而抬升剥蚀, 成为川西坳陷须家河组沉积时的古老物质来源地区。龙门山区的初始隆起和川西坳陷的沉降, 为须家河组巨厚沉积物提供充分条件, 隆起区的北西向断层带可能成为向盆地搬运沉积物的水道, 在盆地边缘形成三角洲, 不过这时龙门山推覆构造尚未完全形成。

(四) 推覆构造形成阶段 (T_3 末)

三叠纪末的印支运动成为龙门山推覆构造的主要形成阶段, 如图 9-D 所示。这时动力来源方向发生了变化, 再不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。其演化机制讨论如下。

1. 发生俯冲的条件

(1) 须家河期末, 川西坳陷至少沉积了 3000m 以上的陆相地层, 龙门山冲断带东西两侧地 反差强烈。

(2) 从后龙门山青川断裂以北出露的前震旦系 (碧口群) 高度与川西坳陷基底埋深比较, 两者至少相差 12km 这样就会在川西坳陷地壳形成巨大的沉积荷载产生的静压力。

(3) 后龙门山区印支期形成的幔源岩浆不断上升并同融陆壳成为壳幔混源型, 岩体上升热膨胀所产生的侧压力, 为后龙门山由西向东逆冲提供了条件。

2. 邻区板块作用力源方向的转变

印支中幕以后, 羌塘地块与青藏高原东部拼贴, 甘孜-阿坝三角区地壳已逐渐固化。特提斯洋已迁移到班公湖-丁青-怒江一带成为中特提斯洋。直到晚侏罗世末中特提斯洋才关闭。推挤作用到后龙门山区的时间应是燕山期, 它与龙门山推覆构造主要形成于印支晚期相矛盾。故我们认为龙门山推覆构造形成的动力来源, 不是来自于

西边,而应该从东边去找。

印支运动在中国南方有许多表现,如东南沿海开始的火山弧、华中许多地方的晚三叠世末出现的沉积间断、北东向江南古陆再次抬升、川东南出现开江-泸州印支期北东向古隆起,均说明古太平洋板块(实际为法拉隆板块)对中国南方地壳的影响,其作用力传递到龙门山区,成为扬子板块向龙门山俯冲的动力因素。因此我们认为龙门山推覆构造形成的主要动力来源于东边。

3. 俯冲机制

晚三叠世龙门山区早已存在西高东低的地 反差、川西拗陷剧烈沉降和青川断裂推覆产生的沉积与构造载荷,均使该区上地壳处于失稳的状态;深部岩石圈又早已破裂,又具有东高西低的格局。故当古太平洋板块对中国南方地壳推挤时,作用力传递到龙门山区,就会触发这种不稳定的势能向动能转换。首先沿已破裂的岩石圈发生错动,带动其上的莫氏面和上地壳低速层拆离而缩短;继之使早期大陆边缘存在的汶川-茂汶和映秀-北川等同沉积断层,从正转逆,加剧活动,迫使浅层构造由西向东仰冲,形成前述4个推覆构造。与此同时或稍后,在重力失稳状态下,形成向川西拗陷前进的滑覆体。此时龙门山推覆构造已基本形成,它显然不同于美国西部洛矶山的推覆构造,而成为具有中国特色的由于陆内俯冲形成的推覆构造。

(五) 推覆构造和滑覆构造进一步发展阶段(J-K)

侏罗纪和白垩纪发生的燕山运动,龙门山区主要表现为上升运动,形成多套磨拉石河口堆积。从四川盆地构造形迹展布方向和华蓥山、龙泉山、熊坡等大断裂主倾方向来看,龙门山区构造受力来源,仍继承印支晚幕发展(图9-E)。扬子板块向龙门山区不断的俯冲,迫使甘孜-阿坝地区进一步隆起,推覆和滑覆活动加剧,有的滑覆体下滑掩覆在侏罗系上,如龙门山中段的塘坝子滑覆体。龙门山推覆构造于此时发展定型。

不可否认,青藏高原在燕山期冈底期地块沿班公湖-丁青-怒江的碰撞作用,和印度极块在喜马拉雅期沿雅鲁藏布江的碰撞作用,对本区构造变动均可能产生影响,但不是主要的作用力。它们产生的北东向的作用力传递到本区,可能沿鲜水河-小江断裂左旋滑移而减弱。许多地球物理学家已有论述(滕吉文、1988,傅维洲等、1988)

五、结 语

通过上述对龙门山地质、地球物理和地球化学等资料的系统综合研究,对龙门山造山带可得以下几点主要结论。

(1) 扬子地台与其西侧地槽区的分界线,无论古生代和中生代的地史分异或现今深部地壳结构的物理特征,均说明龙门山冲断带是一条明显的分界线。目前的资料还不足经说明某些学者在金沙江缝合线建立大扬子地台西界的结论;因甘孜-阿坝地区出现的前震旦纪的块体,可能是兴凯地裂期或峨眉地裂期从扬子地台分离出去的陆块,或古特提斯洋中漂浮的外来地体,经印支运动后,才拼贴在松潘-甘孜边缘海中。其来源问题还待进一步研究。

(2) 龙门山造山带的运动学方式。我们认为印支早幕和中幕, 由于羌塘地块北东向的俯冲和后续碰撞, 形成边缘海和北西向的构造带; 印支晚幕以后由于扬子地台岩石圈向西发生陆内俯冲及其伴生的地质热事件, 才导致龙门山推覆和滑覆构造由东向西逆冲, 形成北东向的龙门山造山带。这样分阶段的运动学方式, 不仅可协调松潘—甘孜地区北西向构造线与龙门山区北东向构造线直交的矛盾, 而且可解释其后冈底斯地块和印度板块发生碰撞的时间(燕山和喜马拉雅期)与龙门山造山带构造变形时间(印支晚幕)的矛盾。因此, 我们认为龙门山造山带是印支晚幕以后受扬子地台向西俯冲推挤而开始, 后经燕山和喜马拉雅运动进一步强化形成。

(3) 龙门山造山带的动力学演化模式, 是多阶段、多层次滑脱、深层控制浅层的陆内俯冲模式, 我们称为C-型俯冲模式, 它不仅具有地区特色, 而且具有代表中国中西部许多挤压型中生代盆地中陆前拗陷形成推覆构造的特征。这个模式的建立不仅能解释龙门山造山带诸多“矛盾”的地质现象, 而且还可把扬子地台深层俯冲和龙门山造山带浅层逆冲推覆构造的机制统一起来。这一模式的建立, 还将为评价龙门山推覆构造油气资源提供乐观的前景, 为川西陆前盆地须家河组超高压气藏的形成提供构造依据, 也为四川盆地气田圈闭形成时间提出新的认识。此外为解释后龙门山区出现的南北向地震带和许多内生金属矿产富集提供基本的大地构造格架。

本文是在我院 22 名合作者承担“七五”国家重点科技攻关项目(75-54-01-06-01)的科研成果基础上和国家自然科学基金资助项目综合编写的一篇文章。属多学科协作攻关共同劳动的成果。若有综合上升不够或错误之处, 由编写人负责, 请读者批评指正。

在完成本攻关课题中, 得到西南石油地质局地质大队、四川石油管理局、四川省地矿局、成都地质学院等单位 and 个人的许多支持和帮助, 在此一并致谢!

主要参考文献

- (1) 黄汲清等:《中国大地构造及其演化》, 科学出版社, 1980年。
- (2) 罗志立: 试论四川龙门山冲断带的成因机制和对青藏高原的形成和油气聚集的影响,《喜马拉雅国际讨论会论文摘要》, 1984年。
- (3) 罗志立: 中国西南地区晚古生代以来地裂运动对石油等矿产的影响,《四川地质学报》, 第2卷, 第1期, 1981年。
- (4) 罗志立: 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》, 第5卷, 第4期, 1984年。
- (5) 金若谷: 四川龙门山北段晚二叠世晚期沉积环境及沉积模式,《沉积学报》, 第5卷, 第4期, 1987年。
- (6) 马杏坦, 索书田: 论滑覆及岩石圈多层次滑脱构造,《地质学报》, 第3期, 1984年。
- (7) 俞如龙等: 川西高原中生代碰撞造山带的大地构造演化,《四川地质学报》, 第2期, 1989年。

(1991年10月5日收修改稿)

THE UPLIFTING OF THE LONGMENSHAN OROGENIC ZONE AND THE SUBSIDENCE OF THE WEST SICHUAN FORELAND BASIN

Luo Zhili and Long Xueming

(Chengdu College of Geology)

Abstract

The present paper discusses the composition and geologic history of the Longmenshan orogenic zone prior to the early Late Triassic on the basis of the depositional environment, stratigraphy and paleontology, and makes an approach to the geothermal event from Indo-Sinian to Yanshan epoch in terms of the isotope geochemistry, and analyzes the tectonic deformation characteristics on the basis of the remote sensing geology and tectonics, and goes into the deep-crustal structure in the light of the geophysical gravimetric, magnetic and electric data. Based on the above, the present paper has set up a dynamic model for the lithosphere evolution in the Longmenshan orogenic zone, an intracontinental subduction model characterized by multilayer, multistage, deep-level controlling deformation of shallow level. It differs from any other model set up the scholars at home and abroad. It is a Chinese type called C-type subduction orogenic model. The establishment of this model is of great importance not only to the theory of intracontinental tectonics in China but also to the prospecting for the metallic ore deposits in the Longmenshan orogenic zone, and the oil-gas reservoir in the west Sichuan foreland basin. It will provide new knowledge for the research on the genetic mechanism of the south and north Longmenshan seismic zones and the uplifting of the east Qinghai-Tibet Plateau.

