



龙门山冲断带多层次滑脱带与滑脱构造变形

汤良杰^{*}, 杨克明, 金文正, 吕志洲, 余一欣

- ① 油气资源与探测国家重点实验室(中国石油大学(北京)), 北京 102249;
② 石油天然气成藏机理教育部重点实验室(中国石油大学(北京)), 北京 102249;
③ 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心, 北京 102249;
④ 中国石油化工股份有限公司西南油气分公司, 成都 610081

* E-mail: tanglj@cup.edu.cn

收稿日期: 2007-04-20; 接收日期: 2008-01-08

国家自然科学基金项目(批准号: 40672143, 40472107, 40172076)、国家重点基础研究发展计划项目(编号: 2005CB422107, G1999043305)和中国石油化工股份有限公司西南油气分公司项目(编号: GJ-51-0602)资助

摘要 龙门山冲断带发育多层次的滑脱层, 通过野外地质考察、地震剖面解释和平衡剖面分析, 可以将其划分为: (i) 深层次滑脱带, 包括壳幔滑脱带、壳内滑脱带和前震旦系基底滑脱带, 所发育的构造变形样式主要有壳幔拆离滑脱变形、基底韧性剪切变形等; (ii) 中层次滑脱带, 包括寒武-奥陶系滑脱带、志留系滑脱带等, 发育的构造变形样式主要有等厚褶皱、尖棱褶皱、构造虚脱及其构造组合等; (iii) 浅层次滑脱带, 包括上三叠统须家河组滑脱带、侏罗系滑脱带等, 发育的构造变形样式主要包括逆冲推覆构造和重力滑动构造样式、背冲断块、三角带构造和双重构造等。多套滑脱层不仅使褶皱-冲断带自深层往浅层发育了不同的构造变形样式, 同时还使得局部构造发生了明显的构造作用的叠加, 研究表明, 多套滑脱层在龙门山冲断带的形成和演化过程中具有重要的作用。

关键词

滑脱层
构造变形样式
多层次滑脱
龙门山冲断带

近几十年来, 国内外不同学者对分布在褶皱-冲断带内的滑脱层进行了较为详细的研究工作^[1-8], 取得了很大进展, 主要表现在 3 个方面: 一是滑脱层基本上都是由非能干性岩层构成, 比如盐岩, 由于其特殊的高流动性, 在构造运动的过程极易发生流动, 使其上覆层发生滑脱变形。另外, 泥岩、泥灰岩等也是主要的滑脱层; 二是位于滑脱层上下的两套地层会表现出不同的构造变形特征。在构造挤压环境中, 往往滑脱层之上地层变形较强烈, 滑脱层之下地层变形相对较弱, 由于滑脱层与其上地层之间的摩擦力相对较弱, 构造挤压应力在滑动的过程中损失较少, 使得上部地层滑脱较远, 如侏罗山褶皱-冲断带基底滑脱层之上的地层向北西方向推覆距离达几公里^[8]; 三是在有滑脱层发育的地区, 多见几套滑脱层共生存在,

滑脱层是一种塑性特征明显的沉积岩, 这种塑性特征是指上下不同岩层能干性上的差异, 具有“相对性”意义, 所以在具体的地质层位中, 夹于能干性岩层之间的非能干性岩层在构造变形中就可以成为滑脱层。

国内外的学者做了大量的地质研究工作^[9-13], 虽然目前对于龙门山冲断带中的滑脱层的研究已经取得了不少认识, 如龙门山冲断带发育多个区域性滑脱层, 即寒武系、志留系和下三叠统嘉陵江组-中三叠统雷口坡组, 同时也存在有局部性的滑脱层, 如上二叠统、下三叠统的飞仙关组等等, 但是仍然存在以下问题: (i) 由于龙门山冲断带地质条件复杂, 难以对滑脱层进行较为精确的厘定; (ii) 对与滑脱层相关的构造变形样式的总结和归类方面研究不够。基于以

上原因, 本文通过野外考察和地震资料解释, 对龙门山冲断带的滑脱层进行了确定, 并对其构造变形样式和构造变形机理进行了初步分析。

1 区域地质背景

1.1 构造背景

龙门山冲断带位于四川盆地西缘, 北自广元南抵宝兴, 全长 400 km 以上, 宽 30~60 km, 地史演变复杂, 构造活动强烈, 具有推覆构造的特征, 罗志立等^[14]将其定义为“C-俯冲”。自印支期以来, 龙门山冲断带与川西前陆盆地系统共经历了 3 期较大的构造活动, 即印支期、燕山期和喜马拉雅期^[15,16], 其中印支运动中幕, 受羌塘-昌都地块的北东向挤压, 青川-茂汶断裂以西地区形成褶皱隆起, 印支运动晚期, 随着扬子古板块向华北板块俯冲, 形成北东走向的龙门山冲断带, 之后又经历了燕山期和喜马拉雅期的构造运动, 形成现今的龙门山冲断带^[14], 其盆山边界由最西侧的青川-茂汶断裂向东转移到马角坝-通济场-

双石断裂带, 表现出“前展式”变形特征, 其中在印支晚期构造运动中就已经形成了川西前陆盆地^[17]。

龙门山冲断带发育众多的断裂, 根据断裂的延伸距离、产状和分布范围, 可以将研究区在平面上分为 5 个构造单元: (i) 松潘-甘孜构造带, 位于青川-茂汶断裂带以西; (ii) 韧性变形带, 夹持在青川-茂汶断裂带与北川-映秀断裂带之间; (iii) 基底卷入冲断带, 夹持在北川-映秀断裂带与马角坝-通济场-双石断裂带之间; (iv) 前缘褶皱-冲断带, 夹持在马角坝-通济场-双石断裂带与广元-关口-大邑断裂带之间; (v) 前陆拗陷带, 位于广元-关口-大邑断裂带以东 (图 1)。

1.2 深部地质背景

通过阿坝-简阳段大地电磁探测剖面可以看出 (图 2), 龙门山冲断带所处的区域为大地电磁异常剧烈变化带, 有岩浆出露于地表^[18,19], 逆冲断裂发育, 以该异常带为界, 西部岩石圈厚度大^[20], 等温层埋深

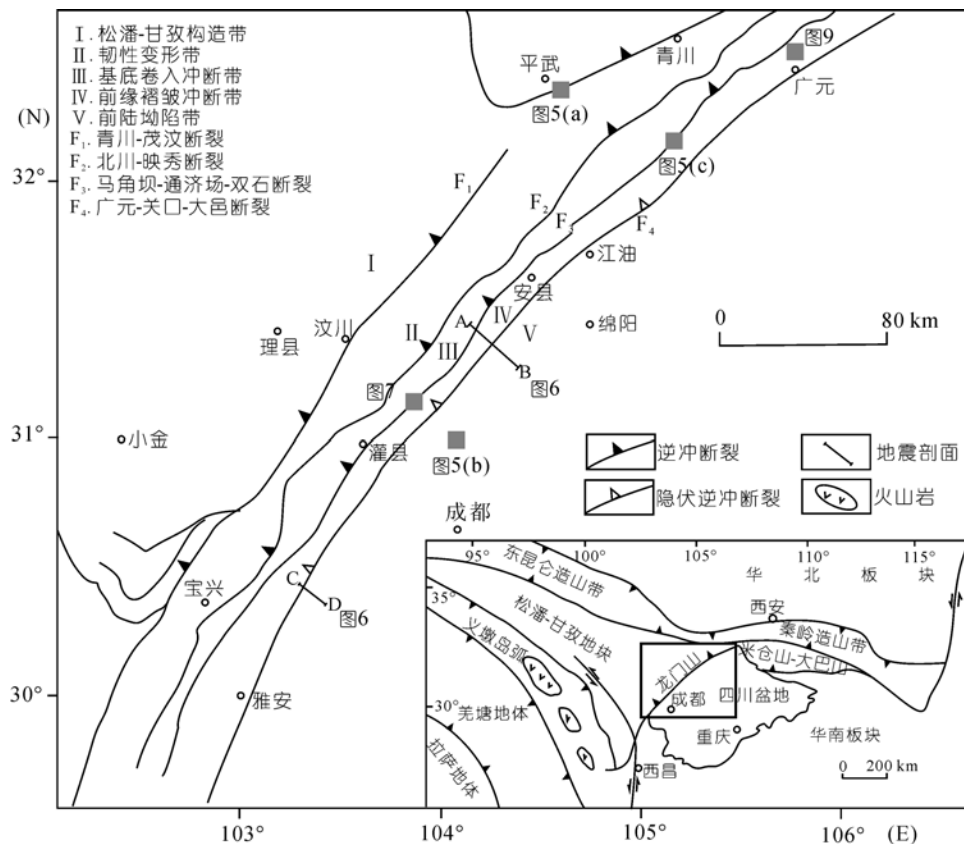


图 1 龙门山冲断带构造略图

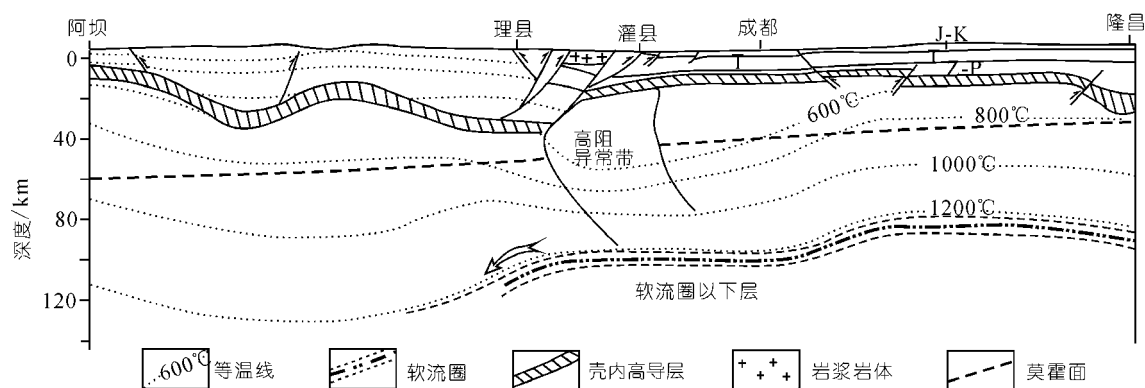


图2 龙门山及川西前陆盆地岩石圈热结构

据中国石油化工股份有限公司西南油气分公司, 2006

加大, 壳内高导层发育且埋深较大, 表明扬子地台向龙门山冲断带下部俯冲, 并且目前地温场尚未达到平衡状态, 为龙门山冲断带的形成提供了较好的深部地质条件。

1.3 构造-地层层序特征

四川盆地是扬子古板块上的一个多旋回沉积盆地, 龙门山冲断带及前缘地区地层发育较全, 从震旦系—第四系都有发育(表 1), 除晚三叠世早期盆地西部马鞍塘组和小塘子组及中三叠世雷口坡组为海相或海陆过渡相沉积外, 龙门山冲断带及川西前陆盆地堆积了晚三叠世须家河组至白垩系巨厚的陆相地层, 最大厚度可达 8000 m 以上, 总体特征是西厚东薄, 北厚南薄。

2 多层次滑脱带

2.1 滑脱带划分

根据野外地质考察和地震资料解释, 表明在龙门山冲断带发育多套滑脱带(表 1), 根据构造变形程度及变形所能发生的温压条件, 可以将研究区的滑脱带划分为深层次滑脱带, 中层次滑脱带和浅层次滑脱带。同时也可以根据滑脱层的覆盖面积和展布特征, 将以上滑脱带划分为区域滑脱带和局部滑脱带^[21]。

2.2 深层次滑脱带及其主要特征

(1) 壳幔滑脱带: 龙门山冲断带发育 3 条主干逆冲断裂带, 即青川-茂汶断裂带、北川-映秀断裂带和

马角坝-通济场-双石断裂带, 与此三条主断裂带相伴生的分支断裂很多, 产状和性质基本上与主干断裂相近。主干断裂及其分支断裂向地下深处延伸, 与深部大断裂相连, 消失在接近地幔的深地壳塑性层中^[22], 表现为深层壳幔滑脱带性质。

(2) 壳内滑脱带: 龙门山冲断带形成深大断裂是扬子地台与松潘-甘孜地体相碰撞的结果, 罗志立等^[22]认为扬子地台在由东向西移动的过程中遇到高势态龙门山的阻挡, 首先错断莫霍面, 然后影响上地壳上部的塑性-脆性地层, 使其发生极其复杂的构造变形, 导致在较浅的地壳内, 龙门山表现为由西向东逆冲的褶皱冲断带。

(3) 前震旦系基底滑脱带: 前震旦系基底发育重要的滑脱带, 在龙门山后期的构造活动中, 发育于基底滑脱带的大型断裂发生过多期活动, 在靠近川西前陆盆地的区域, 该基底断裂并未穿透上覆地层, 而靠近造山带的基底断裂则穿透上覆地层, 与后期形成的众多断裂一起构成了龙门山冲断带复杂的逆冲推覆构造带。

2.3 中层次滑脱带及其主要特征

(1) 寒武-奥陶系滑脱带: 研究区的寒武系平行不整合于震旦系之上, 在轿子顶推覆体的西侧有所出露, 它主要是一套浅海相碎屑岩, 如下寒武统的清平组是含有钙质或泥质的粉砂岩, 奥陶系在研究区出露范围较小, 主要出露在广元的局部地区, 岩性主要为灰岩或者泥质灰岩, 如宝塔组地层。寒武系发生强烈的褶皱变形和逆冲推覆, 并逆冲在志留系之上, 奥

表 1 龙门山冲断带构造-地层发育简表

地层					主滑脱层	构造运动
界	系	统	组	段		
新生界	第四系					喜马拉雅运动晚幕
	新近系	上新统				
		中新统				
	古近系	渐新统	芦山组			喜马拉雅运动早幕
		始新统	名山组			
		古新统				燕马拉雅运动
中生界	白垩系	上统	灌口组-夹关组			燕马拉雅运动
		下统	剑门关组			燕马拉雅运动
	侏罗系	上统	蓬莱镇组	三—四段		
				一—二段		
			遂宁组	二段		燕马拉雅运动
				一段		
		中统	上沙溪庙组			
			下沙溪庙组			燕马拉雅运动
			千佛崖组			
		下统	白田坝组			印支运动
	三叠系	上统	须家河组	须五段		安县运动
				须四段		
				须三段		
				须二段		
			小塘子组	须一段		印支运动
			马鞍塘组			
		中统	雷口坡组			
		下统	嘉陵江组			
			飞仙关组			
古生界	二叠系	上统	长兴组			
			龙潭组			
		下统	茅口组			
			栖霞组			
			梁山组			
	石炭系					
	泥盆系					
	志留系					
元古界	奥陶系					
	寒武系					
	震旦系					晋宁运动
	南华系					

陶系的变形特征与寒武系相似，在深部地层中寒武系和奥陶系共同发生褶皱变形，下部的逆冲断裂在这两地层中消失。

(2) 志留系滑脱带：龙门山冲断带的志留系为研究区内重要的一类中层次滑脱带，可以分为龙马溪群

和茂县群，前者的岩性主要为黑色炭质板岩，后者主要为千枚岩和泥页岩。志留系在龙门山的中北段广泛出露于地表，在地表上主要分布在青川-茂汶断裂以西的区域。通过野外地质考察发现该地层发生了极其强烈的褶皱变形，形成了大量的复向斜和复背

斜构造, 并且在变形的过程中, 起到滑脱作用, 使上下地层沿志留系发生滑脱推覆, 逆冲断裂在志留系中变缓, 形成断坪。

(3) 三叠系嘉陵江-雷口坡组盐岩滑脱带: 嘉陵江组和雷口坡是四川盆地重要的含膏层位, 是正常浅海-半咸化浅海碳酸盐岩建造, 厚度为 200~1466 m, 从下到上依次沉积灰岩、白云岩、含膏质白云岩、膏溶角砾岩和膏岩。在龙门山冲断带的形成及其后期的多期构造活动中, 该盐层发生强烈的褶皱变形, 成为重要的滑脱层。

2.4 浅层次滑脱带及其主要特征

(1) 上三叠统须家河组滑脱带: 龙门山地区上三叠统为一套陆相含煤碎屑岩沉积组合, 自下而上包括马鞍塘组、小塘子组和须家河组。须家河组地层较全, 厚度近 4000 m, 其中须家河组二段为含有岩屑的石英砂岩, 厚度为 550~750 m; 须家河组三段的岩性为灰色砂质泥岩, 粉砂岩, 夹有煤层; 须家河组四段为岩屑砂岩夹粉砂岩和煤线; 须家河组五段主要为灰色泥岩、砂质泥岩与砂岩、粉砂岩不等厚互层。在龙门山冲断带形成过程中, 上三叠统发生了强烈的构造变形, 其中的软弱层在变形的过程中起到滑脱作用, 成为龙门山冲断带的浅层次的滑脱带。在龙门山中段可发现须家河组三段发生了较为强烈的构造变形, 形成断背斜、复背斜、复向斜、地层倒转等构造样式, 煤层等软弱层在构造变形过程中起到了断层滑脱的作用。

(2) 侏罗系滑脱带: 侏罗纪地层在龙门山冲断带的马角坝-通济场-双石逆冲断裂带与广元-关口-大邑断裂带之间广泛出露于地表, 侏罗系与下伏地层为不整合接触, 主要为内陆河、湖相红色碎屑岩建造, 其中遂宁组为一套红色湖相砂泥岩沉积, 以泥岩、泥质粉砂岩为主, 在构造活动中, 该套地层在发生冲断和褶皱的同时, 也存在有一定程度的滑脱作用, 使其上下地层发生了一定程度的不均匀变形。

(3) 白垩系滑脱带: 白垩系是继侏罗系之后的又一套河、湖相红色碎屑岩建造, 与下伏的上侏罗统莲

花口组为平行不整合接触, 夹持在白垩系大套砾岩或砂岩中的剑阁组棕红色泥岩, 具有滑脱带特征, 影响局部构造变形。

3 滑脱构造变形样式

3.1 深层次滑脱变形样式

(1) 壳幔拆离滑脱变形: 壳幔拆离滑脱变形样式是前陆盆地环境中位于地下深处的一种较为常见的构造变形样式, 主要是由于板块或者大型地质体的相互碰撞, 在下地壳和地幔的流变作用下, 造成在下地壳和上地幔之间形成的一个大型平缓的拆离滑脱面(图 3), 如王椿镛等认为青藏高原内部和高原外部具有不同的壳幔变形特征, 高原内部表现为强壳幔耦合型, 高原外部则属于壳幔解耦型^[23]。该横向过渡从能量守恒的角度来讲, 这种滑脱面的作用就是进行盆山耦合上的物质和能量的循环和交换^[16,17,20~22,24]。由于接近地幔, 所以常规的地震方法很难将其识别, 目前可以通过重力场和定量动力学等方法进行研究^[1]。

(2) 基底韧性剪切变形: 基底韧性剪切变形是前陆盆地环境中另一种重要的滑脱带变形样式, 研究表明, 我国多数地区存在壳内高导层和幔内高导层^[25~28], 高导层的存在及其内部的非能干层为陆内俯冲及其后期基底韧性剪切变形提供了前提条件^[29], 图 4 表明壳内低阻层在灌县以东和以西地区具有明显差别, 并且灌县附近存在一个明显的高阻异常体^[30]。在龙门山冲断带, 基底韧性剪切变形主要是发育在前震旦系基底滑脱带之中, 在青川-茂汶断裂以西的地表露头中有所出露, 表现为地层发生强烈的揉皱变形, 断裂不发育, 地层形成复向斜或者复背斜。在发生构造变形的同时, 志留系发生片理化, 成为其上地层构造变形的滑脱层, 如位于平武附近陈家坝断层面处可以见到志留系发生明显的片理化(图 5(a))。

3.2 中层次滑脱变形样式

通过野外露头, 可以发现中层次的滑脱带常发育与褶皱构造相关的变形样式, 主要等厚褶皱、构造虚脱、尖棱褶皱及其构造组合等。

等厚褶皱、虚脱和尖棱褶皱组合样式: 等厚褶皱

1) 高祥林, 宋正范, 王懋基, 等. 中国大陆中生代构造变形格局与重力场分区特征的关系. 中国地震局地质研究所(科研报告), 1999

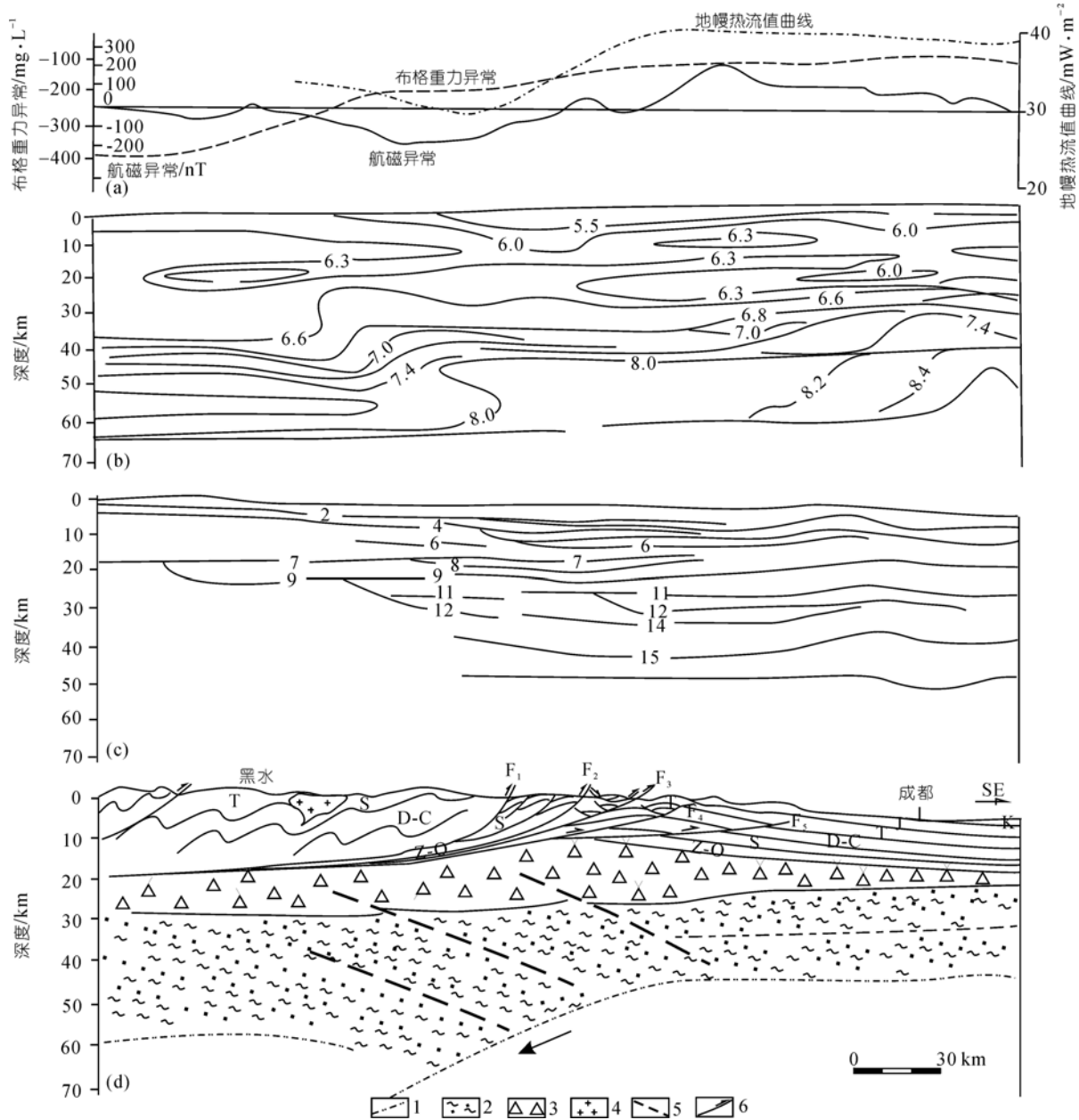


图 3 龙门山冲断带壳幔拆离滑脱变形综合模式图

(a) 航磁、布格重力及地幔热流值综合对比曲线 (据罗志立, 龙学明, 1992); (b) 地幔速度等值线图 (据殷建荣等¹⁾, 1994, 修改); (c) 反射层分布图 (据殷建荣等¹⁾, 1994, 修改); (d) 龙门山冲断带壳幔拆离滑脱变形综合模式图。1. 莫霍面; 2. 下地壳中基性岩类; 3. 太古宙中深变质岩系; 4. 中生代花岗岩; 5. 推测大型断裂; 6. 逆冲断裂; F₁. 青川-茂汶断裂; F₂. 北川-映秀断裂; F₃. 马角坝-通济场-双石断裂; F₄. 广元-关口-大邑断裂; F₅. 彭县断裂

和尖棱褶皱是在野外露头尺度下较为明显的一种构造变形样式, 该种构造是由于在两个能干性地层中夹有非能干性地层, 在发生构造挤压的过程中, 由于

两种物理性质不同的岩石对构造应力产生的不同抗压性能所形成 (图 5(b)), 地层发生褶皱后, 在褶皱的转折端形成构造虚脱, 在软弱层外部的地层形成尖

1) 殷建荣, 代建全, 何志国, 等. 四川盆地逆掩推覆带天然气藏形成条件及勘探方向. 地质矿产部西南石油地质局地质综合研究大队. 1994

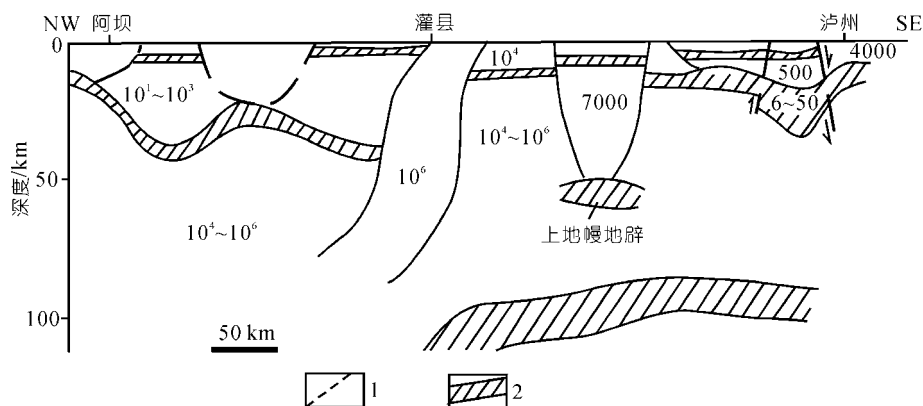


图4 阿坝-泸州地区岩石圈电性结构图(据文献[30], 有修改)

1. 推测断层; 2. 低电阻层; 电阻率单位为: $\Omega \cdot m$

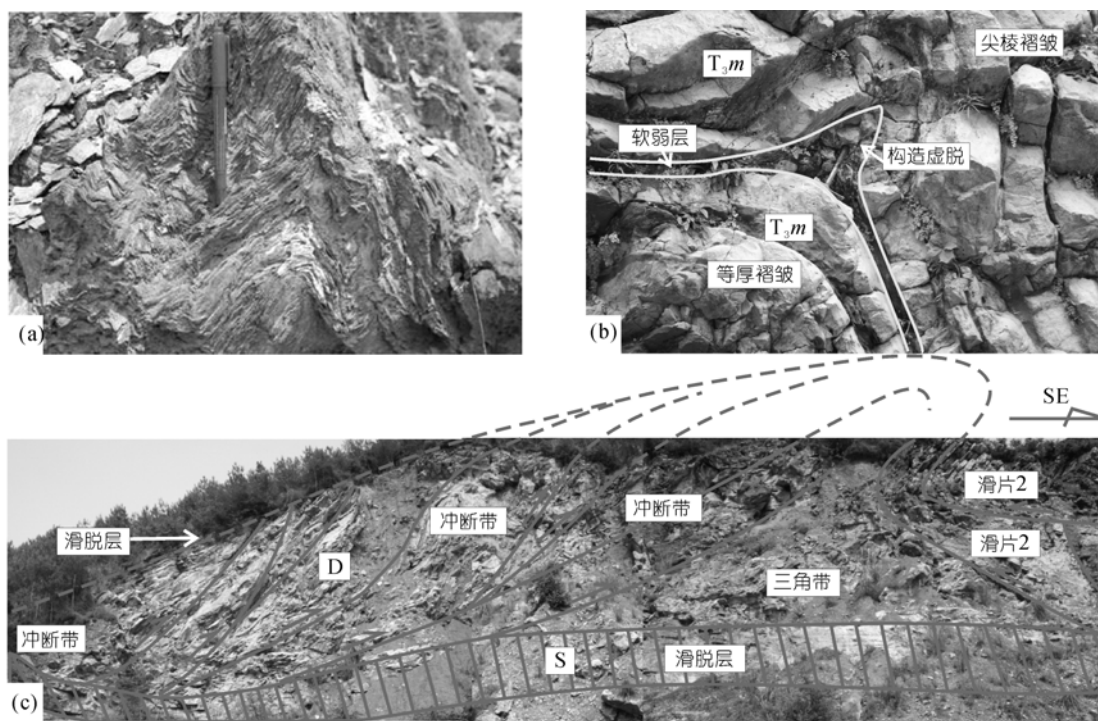


图5 龙门山冲断带典型构造变形样式的野外照片(位置见图1)

(a) 志留系的板岩所形成的褶劈理; (b) 上三叠统底部马鞍塘组灰色鲕粒灰岩背形褶皱; (c) 三角带与双重构造变形

棱褶皱, 而位于软弱层内部的地层则形成了等厚褶皱, 中部的软弱层则在上下两个地层之间发生塑性流动, 在褶皱的转折端成为构造虚脱的填充物. 龙门山冲断带内该种类型的构造极其发育, 并且发育密集, 在龙门山北段的局部地区, 在 10 m 内发育了 4 个这种类型构造的能干性的单层厚度为 5~10 cm, 构造虚脱部位在轴线上的距离为 10 cm, 轴面北倾, 产状为 $350^\circ \angle 48^\circ$, 褶皱两翼的夹角在 $20^\circ \sim 85^\circ$ 之间,

反映了形成该种构造的构造应力为由 NW 向 SE 挤压, 与龙门山形成的整体构造应力一致.

3.3 浅层次滑脱变形样式

浅层次滑脱变形主要表现为脆性变形或者沿塑性地层发生滑脱(或拆离), 其中前者为不连续变形, 如逆冲推覆构造等, 后者为连续变形, 如飞来峰构造等, 此外还有一些浅层次变形具有一定的韧—脆性

变形特征,如三角带构造和双重构造等.

(1) 三角带构造和双重构造变形样式. 龙门山冲断带内发育典型的三角带构造,该种构造的形成与滑脱带的存在密切相关,图 5(c)为在马角坝断裂带处出露于地表的一个三角带构造,在三角带构造的下部有志留系滑脱层,三角带构造的北西侧为发育在滑脱层上部的多条倾向为 NW 的逆冲断裂,在三角带 SE 侧为倾向 SE 的反冲断裂.

在三角带 NW 侧的多条逆冲断裂带之上为泥盆系的局部性滑脱层,它与三角带下部的志留系滑脱层共同构成了浅层滑脱变形样式中的双重构造.通过三角带构造和双重构造可以发现,该地区的构造主要是由 NW 向 SE 的构造作用力形成,并且两套滑脱层的存在对本地区构造变形的形成有着重要的控制作用.

(2) 逆冲推覆构造样式. 逆冲推覆构造是龙门山冲断带最为主要的一种构造样式,主要分布在马角坝-通济场-双石逆冲大断裂以西,比如青川-茂汶断裂带和北川-映秀断裂带及其间所发育的各条断裂(图 6(a))构成了研究区的复杂的逆冲断裂带^[31],各个断裂产状相近,倾向为 NW,上陡下缓,各条主断裂在雷口坡组 and 嘉陵江组中发生明显变缓,在地下深处汇聚为一条大型平缓的逆冲断裂,与中深层次的滑脱带一致.

(3) 背冲断块构造变形样式. 背冲断块是龙门山冲断带发育的另一种典型构造变形样式,由于该种构造容易形成圈闭,所以该种构造的发育对研究区的油气聚集及分布有着重要的作用.位于龙门山冲断

带中南部的大邑构造是一个典型的背冲断块构造(图 6(b)),位于构造高部位的大邑 1 井的实际钻探表明,该背冲断块有较好的油气显示.该构造是由一条向东南逆冲推覆的断裂与一条相伴生的反冲断裂所构成的背冲断块构造,主断裂在中三叠统雷口坡组中发生明显的变缓,表明雷口坡组在该构造的形成过程中起到了重要的控制作用——滑脱作用.

(4) 重力滑动构造样式. 通过野外考察已经注意到,在龙门山地区发育一些外来的大型岩块,其中大部分并非是由此地区的构造挤压作用形成的,大部分岩体是沿着断层面在重力作用下发生重力滑脱作用,形成各种各样的滑覆体^[22].龙门山地区的众多飞来峰就是在重力滑动作用下所形成的构造(图 7),飞来峰在重力滑动作用下由 NW 向 SE 滑动,在后端表现为正断层,在先锋处的断裂表现为逆冲断裂,断层两侧的岩性和产状明显不同,清楚地表现为外来岩块特征.

4 多层次滑脱构造变形机理

4.1 多层次滑脱带控制多层次滑脱构造的形成

龙门山冲断带发育多套滑脱带,多套滑脱带将龙门山冲断带自下至上划分为多套滑脱构造(图 8),即深层次滑脱构造、中层次滑脱构造和浅层次滑脱构造.每一层次滑脱构造的变形和演化都和这些滑脱层的特征及演化相关.深层次的滑脱层塑性特征明显,埋藏较深,使得大型逆冲断裂在该滑脱带内发生很大距离的滑脱,盆山耦合所产生的能量主要也是在这部分滑脱层中发生转化,地层发生明显的揉皱

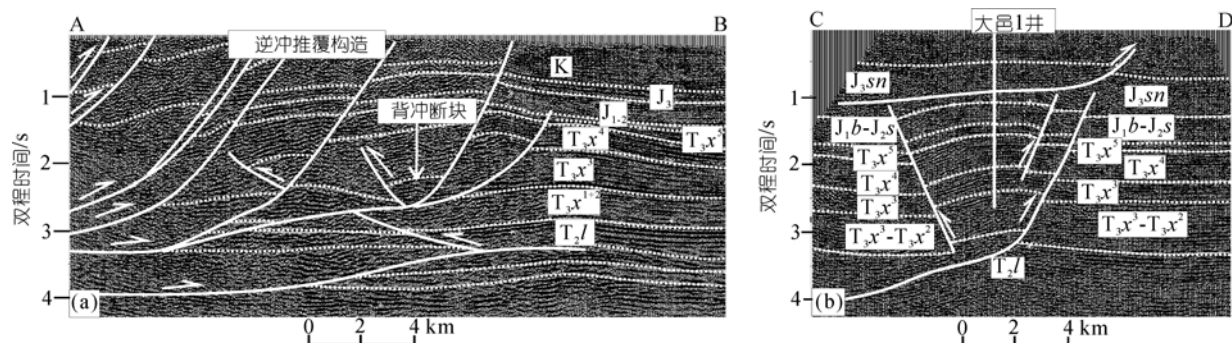


图 6 龙门山冲断带深部地层构造变形样式(位置见图 1)

(a) 逆冲推覆构造和背冲断块构造变形样式(测线 CX-NW-06-196.3, 位置见图 1 中 AB 段); (b) 位于大邑构造的背冲断块构造变形样式(测线 CX-NW-02-18, 位置见图 1 中 CD 段)

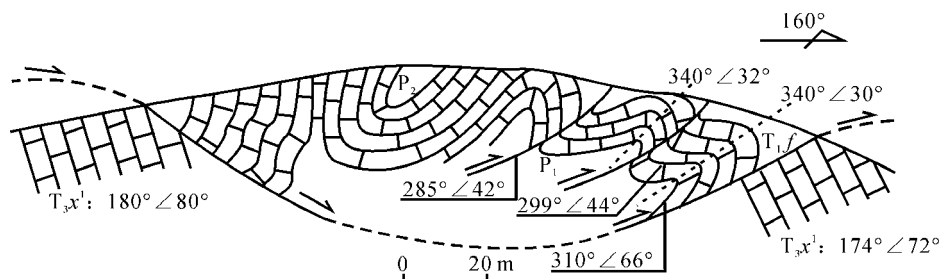


图7 龙门山地区重力滑动构造样式——小鱼洞飞来峰(位置见图1)

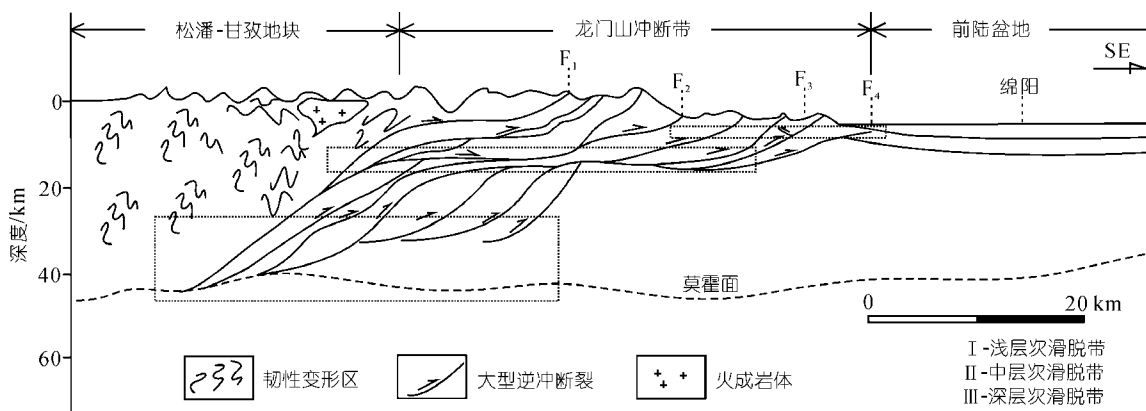


图8 多层次滑脱构造变形模式图

F₁. 青川-茂汶断裂; F₂. 北川-映秀断裂; F₃. 马角坝-通济场-双石断裂; F₄. 广元-关口-大邑断裂

现象;而浅层次的滑脱带由于接近地表,温压条件与深层次滑脱带有明显不同,所以浅层次滑脱构造的变形表现出了一定的韧-脆性特征,并且逆冲断裂向盆地方向扩展,呈“前展式”;中层次滑脱构造的变形介于以上二者之间。

4.2 深层次滑脱构造控制浅层次滑脱构造的形成

龙门山冲断带发育多套滑脱层,在多期构造演化中形成多套滑脱构造,深层次滑脱构造通过不同级别的构造分层来控制浅层次滑脱构造的形成及其演化^[32]。图8展示了龙门山冲断带的各套滑脱构造的形成和分布模式,各条大型逆冲断裂在滑脱层中形成断坪,在非滑脱层部位形成断坡,各条主要逆冲断裂向下倾角变缓,最后分别汇聚于各套滑脱层中。深部滑脱构造形成于地下深处,松潘-甘孜地块与扬子地台相互碰撞所产生的能量在此处开始发生大规模的释放,形成大型逆冲断裂,该断裂具有形成深度大,断层位移大,纵向上分布范围广的特点。相比之下,浅层滑脱构造形成于较浅深度,纵向上分布范围小,

板块碰撞所产生的能量在此消失殆尽,所以深层次滑脱构造对浅层次滑脱构造的形成具有控制作用,但是浅部滑脱层的特征与展布能够在一定程度上影响大型逆冲断裂在浅部的产状,所以,从规模和形成机制来看,深部滑脱构造控制浅部滑脱构造的形成与演化,同时浅部滑脱构造对大型断裂的近地表处有着一定的影响。

4.3 多层次滑脱构造的叠加和改造

龙门山冲断带经历了多期构造演化,如印支晚期发生的安县构造运动,使安县地区形成了一个广泛分布的不整合。龙门山冲断带多期构造演化受控于我国大型叠合盆地形成演化的大地构造环境和背景^[33,34]。在多期的构造演化中,多套滑脱层经历了多期构造演化的叠加和改造,大型逆冲断裂是在多期构造活动中发生多期滑脱或逆冲而形成的,同时,一些局部地区的背斜或背冲断块等构造也多是多期构造的产物,如大邑地区的背冲断块构造在后期构造运动中在其顶部形成一条逆冲断裂(图5(b)),另外广元-

沙坝乡望云铺所出露的下三叠统飞仙关组叠加褶皱断面, 根据其褶皱轴线可以判断此褶皱经历了 2 期构造作用的叠加(图 9).

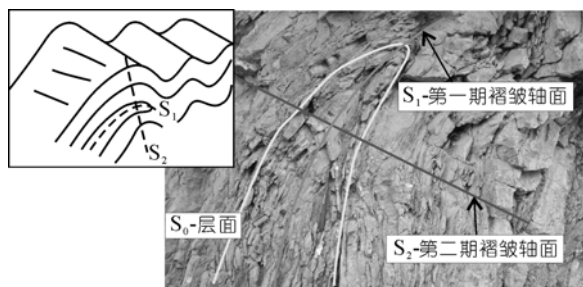


图 9 褶皱的多期叠加现象(镜头方向: 105°, 位置见图 1)

5 结论与讨论

(1) 龙门山冲断带自下至上发育多层次滑脱层, 深层滑脱带主要有壳幔滑脱带、壳内滑脱带和前震旦系基底滑脱带, 在深层次滑脱带中所发育的构造变形样式主要有壳幔拆离滑脱变形、基底韧性剪切变形等; 中层次滑脱带主要有寒武-奥陶系滑脱带、志留系滑脱带、三叠系嘉陵江-雷口坡组盐岩滑脱带, 在中层次滑脱带中发育的构造变形样式主要有等厚褶皱、尖

棱褶皱、构造虚脱、盐拱构造、盐推覆构造等; 浅层次滑脱带主要有上三叠统须家河组滑脱带、侏罗系滑脱带、白垩系滑脱带, 在浅层次滑脱带中发育的构造变形样式主要有逆冲推覆构造和重力滑动构造样式等.

(2) 龙门山多套滑脱带将整个构造带由下至上分为多个滑脱构造体, 各个不同深度的滑脱带控制了滑脱构造的形成和演化, 同时由于多套滑脱层的构造活动具有多期性特征, 比如印支期和燕山期, 龙门山冲断带的逆冲断裂的活动期次不同, 主要表现为龙门山主要断裂的形成具有前展式特征. 在发生多期构造变形的同时, 局部构造发生多期叠加和改造, 最终形成了目前龙门山极为复杂的褶皱冲断构造样式.

(3) 龙门山冲断带具有多套滑脱层, 并且这些滑脱层对不同深度上地层的构造变形和演化起到了控制和限定的作用, 同时龙门山冲断带具有明显的分段性, 这种分段性特征与滑脱层发育和分布是否存在内在联系, 多层次滑脱带如何从总体上控制龙门山冲断带构造变形, 仍需做进一步深入研究.

致谢 本文撰写过程中得到了马宗晋院士、张一伟教授、金之钧教授、贝丰教授、刘和甫教授和王清晨教授的指导和鼓励. 何鲤高级工程师、李儒峰副教授、吴世祥高级工程师和宋立珩高级工程师参加了野外地质考察, 对龙门山冲断带有关构造变形问题进行了有益的讨论, 一并致以深切谢意.

参考文献

- 1 汤良杰, 余一欣, 杨文静, 等. 库车前陆褶皱冲断带前缘滑脱层内部变形特征. 中国地质, 2006, 33(5): 944—951
- 2 何明喜, 杜建波, 古哲, 等. 下扬子北缘前陆盆地构造变形样式. 石油实验地质, 2006, 28(4): 322—324
- 3 周建文, 曾庆, 徐世琦, 等. 龙门山北段推覆构造带变形特征研究. 天然气工业, 2005, 25(增刊 A): 66—71
- 4 黄泽光, 贾存善, 徐宏节. 川西坳陷与库车坳陷变形特征的对比分析. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 30(5): 511—517
- 5 余一欣, 汤良杰, 王清华, 等. 受盐层影响的前陆褶皱-冲断带构造特征——以库车秋立塔克构造带为例. 石油学报, 2005, 26(4): 1—4
- 6 张明山, 姚宗惠, 陈发景. 塑性岩体与逆冲构造变形关系讨论——库车坳陷西部实例分析. 地学前缘, 2002, 9(4): 371—376
- 7 Costa E, Vendeville B C. Experimental insights on the geometry and kinematics of fold-and-thrust belts above weak, viscous evaporitic decollement. J Struct Geol, 2002, 24: 1729—1739
- 8 Sommaruga A. Decollement tectonics in the Jura foreland fold-and-thrust belt. Mari Petrol Geol, 1999, 16: 111—134
- 9 Worley B A, Wilson C J L. Deformation partitioning and foliation reactivation during transpressional orogenesis, an example from the Central Longmenshan, China. J Struct Geol, 1996, 18(4): 395—411
- 10 Reid A J, Wilson C J L, Liu S. Structural evidence for the Permo-Triassic tectonic evolution of the Yidun Arc, eastern Tibetan Pla-

- teau. *J Struct Geol*, 2005, 27: 119—137
- 11 Harrowfield M J, Wilson C J L. Indosinian deformation of the Songpan Garze Fold Belt, northeast Tibetan Plateau. *J Struct Geol*, 2005, 27: 101—117
 - 12 Arne D, Worley B, Wilson C, et al. Differential exhumation in response to episodic thrusting along the eastern margin of the Tibetan Plateau. *Tectonophysics*, 1997, 280: 239—256
 - 13 Liu S G, Luo Z L, Dai S L, et al. The uplift of the Longmenshan thrust belt and subsidence of the west Sichuan foreland basin. *Acta Geol Sin*, 1996, 9(1): 16—6
 - 14 罗志立, 刘树根, 雍自权, 等. 中国陆内俯冲(C-俯冲)观的形成和发展. *新疆石油地质*, 2003, 24(1): 1—7
 - 15 刘树根, 赵锡奎, 罗志立, 等. 龙门山造山带——川西前陆盆地系统构造事件研究. *成都理工学院学报*, 2001, 28(3): 221—230
 - 16 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 中国西部盆山系统得耦合关系及其动力学模式——以龙门山造山带-川西前陆盆地系统为例. *地质学报*, 2003, 77(2): 177—186
 - 17 刘树根. 龙门山冲断带与川西前陆盆地的形成演化. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 17—21
 - 18 张宏飞, 肖龙, 张利, 等. 扬子陆块西北缘碧口块体印支期花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成: 限制岩石成因及其动力学背景. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(4): 460—470
 - 19 林广春, 李献华, 李武显. 川西新元古代基性岩墙群的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd-Hf 同位素地球化学: 岩石成因与构造意义. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2006, 36 (7): 630—645
 - 20 罗志立, 刘树根. 试论龙门山冲断带大陆科学钻探选址问题. *中国大陆科学钻探先行研究*. 北京: 冶金工业出版社, 1996. 189—197
 - 21 蔡立国, 刘和甫. 四川前陆褶皱-冲断带构造样式与特征. *石油实验地质*, 1997, 19(2): 115—120
 - 22 罗志立, 龙学明. 龙门山造山带的崛起和川西前陆盆地的沉降. *四川地质学报*, 1992, 12(1): 204—218
 - 23 王椿镛, 常利军, 吕智勇, 等. 青藏高原东部上地幔各向异性及相关的壳幔耦合型式. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(4): 495—503
 - 24 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 龙门山造山带-川西前陆盆地系统形成的动力学模式及模拟研究. *石油实验地质*, 2003, 25(2): 432—438
 - 25 李立. 中国大陆地壳上地幔电性特征. *地球物理学报*, 1996, 39(S1): 130—140
 - 26 徐常芳. 中国大陆地壳上地幔电性结构及地震分布规律(一). *地震学报*, 1996, 18(2): 254—261
 - 27 徐常芳. 中国大陆壳内与上地幔高层成因及唐山地震机理研究. *地学前缘*, 2003, 10(S1): 101—111
 - 28 赵俊猛, 张先康, 赵国泽, 等. 不同构造环境下的壳幔过渡带结构. *地学前缘*, 1999, 6(3): 165—172
 - 29 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 试论中国西部陆内俯冲型前陆盆地的基本特征. *石油与天然气地质*, 2005, 2(1): 37—49
 - 30 宋鸿彪. 龙门山造山带地质和地球物理资料的综合解释. *成都理工学院学报*, 1994, 21(2): 79—88
 - 31 Jia D, Wei G Q, Chen Z X, et al. Longmen Shan fold-thrust belt and its relation to the western Sichuan Basin in central China: New insights from hydrocarbon exploration. *AAPG Bull*, 2006, 90(9): 1425—1447
 - 32 吴淦国, 张达, 臧文拴. 铜陵矿集区构造滑脱与分层成矿特征研究. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2003, 33(4): 300—308
 - 33 金之钧, 王清晨. 中国典型叠合盆地与油气成藏研究新进展——以塔里木盆地为例. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2004, 34(增刊): 1—12
 - 34 金之钧. 中国典型叠合盆地及其油气成藏研究新进展(之一)——叠合盆地划分与研究方法. *石油与天然气地质*, 2005, 26(5): 553—562