

川西龙门山前缘地质地球物理解释

徐旭辉

(地质矿产部石油地质中心实验室, 无锡 214151)

通过地面地质观察和地球物理资料解释, 作者认为龙门山区及其前缘有着东西分带、南北分块的构造特点, 即由三大断裂带控制的四个构造带, 以及前缘依据其构造风格所确立的三个块体; 建立了犁式断层、阶状断层、波状断层、穹背式断层和平移断层等5种断裂模型, 以及与断裂作用有关的褶皱构造和与断层组合有关的褶皱构造两类断层-褶皱组合模型; 提出了龙门山地区印支晚期-喜山期由西向东的背驮式迁移, 并在上震旦统底、志留系、下三叠统和上三叠统4个构造层次上滑脱。处在现今龙门山前渊深部的古生界、中生界内有着良好的与逆冲断层密切相关的构造圈闭。

关键词 地质模式 地质地球物理解释 犁式断层 阶状断层 迁移模式 预测深部构造

作者简介 徐旭辉 男 29岁 工程师 石油物探

0 引言

龙门山前缘的地质地球物理解释是“七五”期间国家攻关课题中的一部分。本文试图通过地表地质工作, 结合地球物理解释, 按照龙门山冲断带构造特征, 建立该区地质地球物理解释模式(图1)。

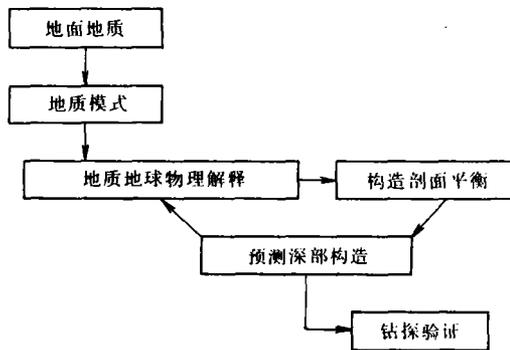


图1 冲断带构造地质解释工作设想

1 构造特征

1.1 区域构造格架

龙门山区北起广元、青川, 南至宝兴、天全, 长约500km, 宽约50~80km, 呈北东-南西

向延伸。从平面上看,它处于松潘-甘孜褶皱系与扬子地块的交界处,东北与秦岭褶皱系相邻,西南与康滇南北构造带相接。因此,邻区的构造演化对龙门山的影响使得它在不同地段有着构造演化和形变的差异性,特别是与不同时代的特提斯海的张开与闭合有关。从剖面上看,根据深部地球物理解释^①,在龙门山岩石圈向西下插,其莫霍面主要被断面西倾的逆断层错开;而龙门山冲断-褶皱带主要发育在结晶基底之上的一种薄皮构造(图2)。

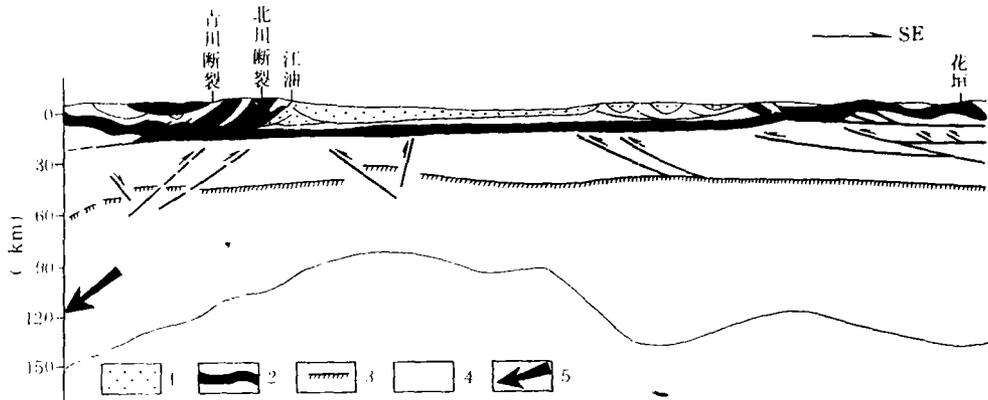


图2 龙门山及四川盆地的纵向圈层关系

1. 中、新生代盆地; 2. 下古生界; 3. 莫霍面; 4. 岩石圈底界; 5. 俯冲方向

根据龙门山区的构造展布、形变特征、变质程度、断裂发育及位移情况,认为从西往东龙门山受三大断裂带控制。它们是松潘-甘孜褶皱系与扬子地块分界的青川-茂汶-永兴断裂带;后龙门山的弯流褶皱-冲断带与前龙门山弯滑褶皱-冲断带分界的北川-映秀-五龙断裂带;前龙门山弯滑褶皱-冲断带与前渊平缓褶皱带分界的江油-灌县-天全断裂带。在龙门山前缘,从地震 T_1 波(侏罗系底)、 T_2 波(须二顶)、 T_3 波(雷口坡组顶)的构造图(图3)上可见,龙门山褶皱-冲断带向东在广元-大邑一带消失,再往东则有反向冲断层出现,说明龙门山褶皱-冲断带业已结束。从这些构造图上还可发现,由西往东在龙门山前缘带内的主要构造背景为怀远镇-德阳-金山向斜和河清-花菱-梓潼向斜两个大型负向构造。由此往南,同样可以根据其构造风格分为三部分:一是广元-旺苍-剑阁一带,其特点是浅层(中三叠统以上地层)为北高南低、北陡南缓的单斜,断裂不发育,在广元附近,发育潼梓观鼻状构造、河湾场构造,构造的形态、幅度与地表构造基本相似;中层(志留系一下三叠统)断裂发育,由此伴生了一系列褶皱;而深层构造幅度明显减小,尚可见断层但不发育。二是青林口-梓潼-怀远镇一带,该部分以河清-花菱-梓潼向斜、怀远镇-德阳-金山向斜为骨架,南部、西部正向构造带及隐伏逆掩断层比较发育,走向北东呈斜列式分布,而其地表构造褶皱强烈,但无断层显示,除主断裂外,断层多发育于雷口坡组以上层系,向下多消失于主断层上。三是三合场-高家场-雅安一带,该部分为发育程度较高的线型高陡构造、地表断层较发育为特征的断褶皱带,该带内地面构造被皱强烈,两翼不对称,地面断层多发育于构造东南翼,地腹存在多层滑脱层(或面),其构造受一系列叠瓦断层控制。

① 地质矿产部石油地质中心实验室,1990,扬子地区古生代盆地构造演化和油气关系

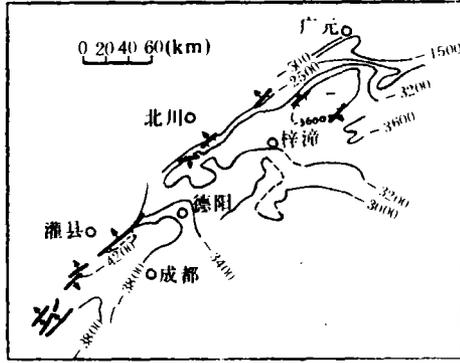


图 3a 川西龙门山前缘 T₁ 反射层(侏罗系底)构造略图
(据四川石油管理局,1982年简化)

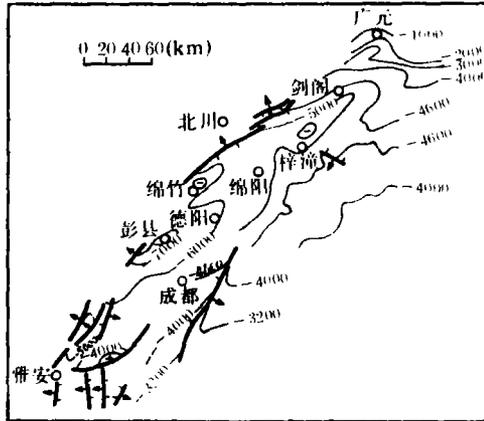


图 3b 川西龙门山前缘地震 T₂ 反射层(须二段顶)构造略图
(据西南石油地质局第二物探大队,1986年简化)

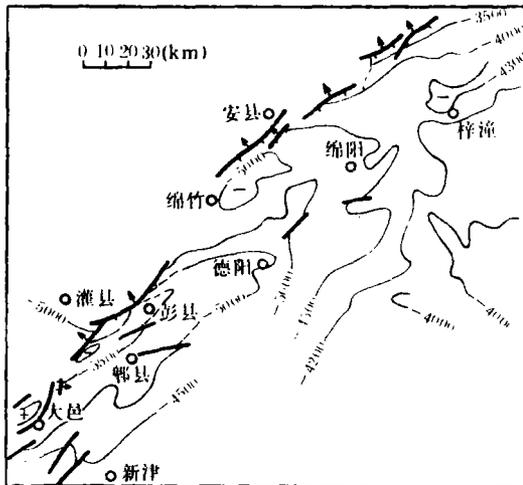


图 3c 川西龙门山前缘地震 T₃ 反射层(雷口坡组顶)构造略图
(据西南石油地质局第二物探大队,1984年简化)

1.2 断层和断层-褶皱组合

从地表地质及前缘地震资料解释中我们发现,构造型式在强、弱岩层中表现完全不同,强硬层中一般发育开阔褶皱和脆性破裂,软层中则常见紧闭的尖棱褶皱和倒转褶皱。断距较大的断层均沿构造软弱面发育。在该区主要发育有:

(1)犁式断层:是北东向的主干断层,地面产状倾向北西,倾角 $65\sim 75^\circ$,有人称之为冲断层,经地震和钻探证实,这类断层的倾角往下变缓至 $45\sim 10^\circ$,甚至近于水平。

(2)穹背式断层:是在地表剖面上发现的一种推覆断层。其根部仍为犁式,倾角上陡下缓,上陡端断面弯曲,使倾向与根部相反,且端部插入层面,层面滑脱而消失。

(3)波状断层:是形成龙门山飞来峰的主要断层。它是在穹背式断层的基础上进一步变化成的,即根部是犁式断层,上部倾向弯曲转向成穹背式之后,顶部再次发生倾向转向,整个断面成不对称波状。

(4)阶状断层:大多见于地震剖面中,它主要由一组或更多的断坪和断坡组成,根部仍为犁式或沿层面水平滑脱。

(5)页北向的平移断层组:是剪应力造成的切割北东向构造并有一定旋扭指向意义的断层组。

综观地表地质构造特征和从地球物理信息中得到的深部构造特征,尽管区域内断层-褶皱组合的形态各异,但多反映为下述两种类型:一类是与断层作用有关的褶皱构造;在该区我们从地震剖面的解释中可以发现,有两种褶皱构造大量存在,其一为断弯褶曲(图4a),地层在断层的上盘内变形,且断层为一个阶状断层,由一系列的断坪断坡组成。另一为断层扩展褶曲(图4b),其背斜位于隐伏冲断层端点的上盘,背斜前方地层为不形变的前倾单斜或平层。在野外露头中,我们还发现一以冲断层为核的膝折背斜(图4c),褶曲内部形变微弱,箱状褶皱发育。第二类是与断层组合有关的褶皱构造;在该区存在有由冲断前锋断坡与反向冲断层组合形成的突起构造(图5a);由一犁式逆掩断层与一反向断层("y"或"v"字型)组合形成的背斜构造(图5b);以及处于龙门山冲断带消弱处所出现的与倾向相反的犁式逆掩断层对冲("八"字型)有关的背斜构造(图5c)。

2 构造-地层组合和滑脱面确定

根据龙门山地区的地层岩性、沉积特征、变形特点,结合盆地内的地震层序特征的研究(表1),可以从震旦系至第四系划分出五大构造层:(1)前震旦系—震旦系下统;(2)震旦系上统一志留系;(3)泥盆系—三叠系中统;(4)三叠系上统;(5)侏罗系—第四系^①。

2.1 前震旦系—震旦系下统

该套地层为该区基底,目前地震工作还未能涉及该领域,主要从地表观察中获得。它主要见之于龙门山后山带,为一套绿泥石片岩、石英绿片岩及变质砂岩;原岩为一套砂岩和火山岩及火山碎屑岩沉积,其时代大致为中晚元古代,该套地层内有大量的花岗岩(γ_2)、花岗闪长岩($\gamma\delta_2$)侵入,有时呈大型捕虏体残存。认为该套地层在晋宁期和澄江期固结,构成了扬

① 刘和甫、蔡立国等,1987,川西北龙门山推覆构造和古生代盆地演化对油气的控制关系

子地块的基底组合。

2.2 震旦系上统一志留系

在龙门山前缘沉积有从震旦系上统一志留系的地层，向川中古隆起轴部收敛减薄，志留系地层在有的部位缺失，且与上覆地层呈不整合接触。结合地表观察可以知道，晚震旦系早期的碎屑岩沉积—晚期的白云岩沉积，为盖层沉积的第一个沉积旋回；而从寒武系的碎屑岩沉积—奥陶系灰岩为另一个旋回。寒武系地层厚度巨大，主要为一套浅海含锰质砂岩和含钙质结核粉砂岩。奥陶系地层以中奥陶统宝塔组灰岩较为特征，厚度仅十几米到几十米，但区内分布广泛。志留系地层厚度较大，且岩性单一，下部为黑色页岩，中上部为黄绿色页岩夹少量薄层砂岩和灰岩。

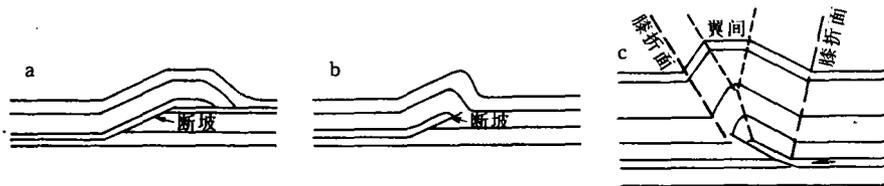


图 4 与冲断作用有关的褶皱构造

a. 断弯折曲(据 Jamison, 1987) b. 断层扩展褶曲(据 Jamison, 1987) c. 以冲断层为核心的膝折背斜,下部的逆冲作用为上部的褶皱缩短所平衡(据 Royer, 1986)

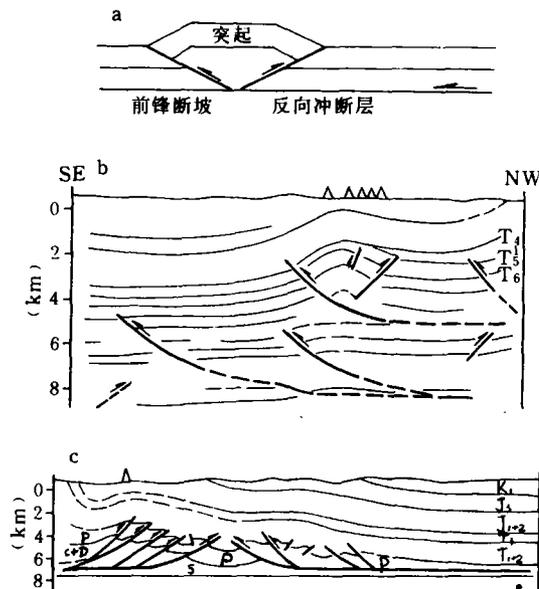


图 5 与断层组合有关的褶皱构造

a. 突起构造, b. 与“v”字型有关的背斜构造(中坝构造 477 线解释剖面), c. 与“八”字型有关的背斜构造(广元地区 D575 线解释剖面)。 T₁ 反射层; T₃ 反射层; T₆ 反射层

表 1 四川盆地地震层序划分表

| | 层组代号 | | 对应波组名称 | 亚地震层序 | 地震层序 | 超层序 | 反射终止性质 |
|----------|------------------|----------------------------------|---------|------------------|-----------------|----------------|------------------------------------|
| | | | | | | | |
| 侏罗系 | 中统 | J ₂ x | 下沙溪庙组 | T ₄ ' | I _{B2} | I _B | 顶部有削蚀点,底部有一系列的向东上超;内部有发散点,外部呈楔形。 |
| | | J ₂ q | 千佛崖组 | | | | |
| | 下统 | J ₁ b | 白田坝组 | T ₄ | | | |
| 三叠系 | 上统 | T ₃ xj ⁵ | 须五段 | T ₃ | I _{B2} | I _A | 东部顶界有削蚀点,内部呈整合接触,但层内发育有透镜体之类的反射异常。 |
| | | T ₃ xj ⁴ | 须四段 | T ₃ | I _{B1} | | |
| | | T ₃ xj ³ 上 | 须三上段 | T ₃ ' | I _{A2} | | |
| | | T ₃ xj ³ 下 | 须三下段 | T ₃ ' | I _{A2} | | |
| | | T ₃ xj ² | 须二段 | | | | |
| | | T ₃ x | 小塘子组 | | I _{A1} | | |
| | T ₃ m | 马鞍塘组 | | | | | |
| | 中统 | T ₂ l | 雷口波组 | T ₂ | | I _E | |
| | 下统 | T ₁ j ¹⁻³ | 嘉四、五段 | T ₁ | I _{D2} | I _D | 东部顶界有削蚀点,内部呈整合接触,但层内发育有透镜体之类的反射异常。 |
| | | T ₁ j ¹⁻³ | 嘉一、二、三段 | T ₁ | I _{D1} | | |
| | | T ₁ f | 飞仙关组 | T ₁ | | | |
| 二叠系 | 乐平统 | P ₂ c | 长兴组 | T ₁ | | I _B | 东西两翼都有削蚀点,层内有上超点,外部呈楔形。 |
| | | P ₂ l | 龙潭组 | | | | |
| | 阳新统 | P ₁ m | 茅口组 | T ₂ | | I _A | |
| | | P ₁ q | 栖霞组 | | | | |
| | | P ₁ l | 梁山组 | | | | |
| 石炭系 | | C | | | | | |
| 泥盆系 | | D | | | I _D | | |
| 志留系 | | S | | | | | |
| 奥陶系 | | O | | T ₀ | | I _C | |
| 寒武系 | | Є | | T ₁₀ | | I _B | |
| 上震旦统 | | Z ₁ | | T ₁₁ | | I _A | |
| 元古界+下震旦统 | | P ₁ +Z ₁ | | T ₁₂ | | | |

(据地质矿产部西南石油地质局第二物探大队, 1986 简化)

2.3 泥盆系—三叠系中统

泥盆系地层下部为较纯净的石英砂岩, 中上部为泥质灰岩、生物灰岩及白云质灰岩。石炭—二叠系地层为一套含燧的灰岩; 至三叠系出现厚层的白云岩和白云质灰岩, 在其下部出现紫红色砂页岩。泥盆系—石炭系在前缘露头中普遍缺失, 而在龙门山区广泛分布, 地层完整。

2.4 三叠系上统

由于印支运动影响, 龙门山前缘成为以陆相为主的沉积环境。底部马鞍塘组及小塘子组为淡化海湾与水退型三角洲沉积, 由碳酸盐岩沉积往上变为浅海页岩、粉砂岩及砂岩沉积, 交错层理及包卷层理发育。至须家河组沉积时, 主要为湖泊、沼泽、三角洲和河流相沉积, 其间发育煤系地层。晚三叠世后期(T₃x³⁻⁴)沉积了一套砾石层系, T₃x³砾石主要分布于龙门山中段彭灌杂岩体前缘, 而 T₃x⁴砾石则分布于全区, 砾石成分主要为灰岩, 少数为石英岩、燧石等。灰岩砾石中有的可见鲕粒结构。

2.5 侏罗系—第四系

龙门山的隆起及连续的冲断作用, 使得山前形成一系列典型的磨拉石沉积。在前渊带形

成了多层厚层砾岩。它们是,白田坝砂砾岩(J_1b)、莲花口砾岩(J_2l)、剑门关砾岩(K_1j)、大邑砾岩(N)和雅安砾石层(Q_2)(表2)。

表2 龙门山前渊带的砾石层

| 地层 | 砾石成分 | 分选性 | 磨圆度 | 砾径(cm) | 观察点 |
|--------|-----------------------------|-----|-----|------------------------|----------|
| J_1b | 北段,石英岩、石英砂岩夹少量砾石、灰岩 | 中等 | 较好 | 10~15 | 广元 |
| | 南段,灰岩为主,见砂岩石英岩及少量变质岩、砾石 | | | | 邛崃 |
| J_2l | 北段,石英岩、石英砂岩、次为灰岩 | 中等 | 较好 | 7~8, 1~2 | 广元、剑阁、江油 |
| | 南段,石英岩、灰岩、次为砂岩、泥岩 | | | 1.5~8 | 宝兴、邛崃 |
| K_1j | 北段,石英砂岩、石英岩,次为灰岩,见有少量脉石英、砾石 | 中等 | 较差 | 7~8 最大 20 最小 2~3 | 广元 剑阁 |
| | 南段,灰岩、次为砂岩、石英砂岩及各种火山岩砾石 | | 较好 | 2~15 | 仁嘉坝 |
| N | 灰岩、石英岩、砂岩、脉石英及花岗岩、长石石英砂岩 | 较好 | 较好 | 0.5~1.0, 平均 2~3 | 邛崃大同乡燕子岩 |
| | | | | 最大 30~50 | 大邑 氮肥厂 |
| Q_2 | 石英岩、砂岩夹少量火山岩 | 差 | 较好 | 2~18 | 邛崃石坡乡大林口 |

根据断层发生频率统计(表3)以及对前缘地震剖面和野外观察结果的分析认为,本区存在着4个构造软弱层(或面),即上震旦统与基底的界面、志留系泥页岩层、下三叠统飞仙关组的页岩、泥灰岩和上三叠统须家河组煤系地层。断层的下端多消失在此类地层中的界面上。

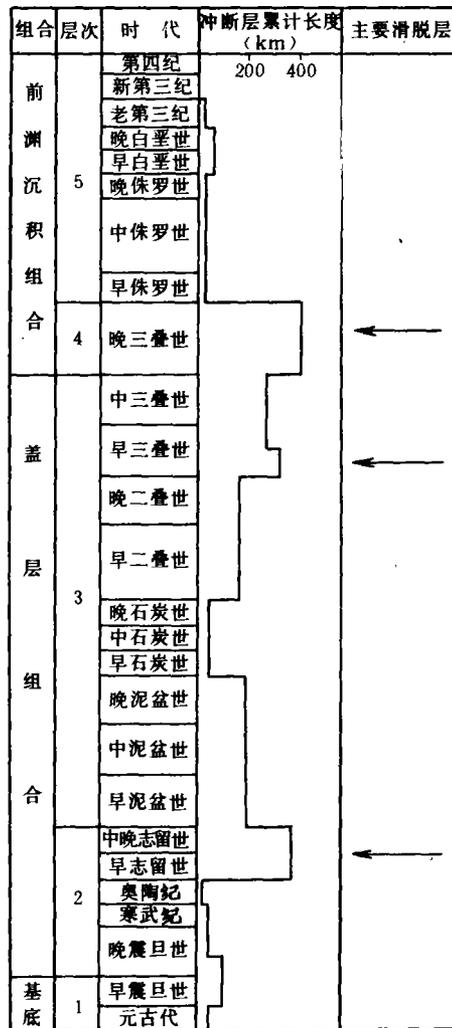
3 深部构造预测和迁移模式

根据龙门山推覆带东西分带、南北分块的特点,从北往南选择了龙门山北段青川县姚渡—广元市太公寺剖面、龙门山北段平武县菜林包—绵阳县刘家河剖面、龙门山中段理县—郫县剖面和龙门山南段宝兴县长征苗圃站—彭山县黄丰场剖面等4条剖面。这些剖面均由山内的地表地质剖面与盆地内的地震剖面相接。依据大量地面地质工作及地球物理资料解释所得的对龙门山推覆带的认识,以及所建立的一系列断层、褶皱样式及其相互的关系;结合构造剖面平衡的原理,对龙门山区深部构造进行了推测。从而得到了4条地质地球物理解释剖面(图6)。

从这些解释剖面中,在东西向上可见前述的受三大断裂带所控制的4个构造带。4条剖面中均表现为:青川-茂汶-永兴断裂以西的松潘-甘孜褶皱系的地层为一逆掩块体。青川-茂汶-永兴断裂至北川-映秀-五龙断裂之间所夹的为一逆掩块体;主要由元古代变质岩系—古生界构成的断片所组成。该块体中地层具有强烈的塑性变形,褶皱具有劈理或透入性的褶皱劈理,为一韧性剪切-相似褶皱带;其下掩覆了许多古生界和三叠系的台地相—台地边缘相的沉积地层。北川-映秀-五龙断裂至马角坝-灌县断裂带之间所夹的为一逆掩块体;主要由

古生界和三叠系构成。在该块体中发育了一系列向南东方向逆冲的近乎平行的叠瓦冲断层系，断面倾向北西，倾角 20~50°，一般上陡下缓，往下各分支断层往下分别交于一起并成水平产状或各分支断层交于同一滑脱面上。同时，该带内发育了一系列的飞来峰构造群，飞来峰多由上古生界碳酸盐岩组成，其下伏地层多为三叠系到侏罗-白垩系。由北向南可划为 3 个推覆体群：北为唐王寨-观雾山推覆体；中段为彭灌飞来峰群；南为金台山飞来峰群。该块体中的变形特征反映了脆性变形与韧性变形同存，其褶皱构造具有北西翼缓，南东翼陡，背斜较宽缓而向斜相对较窄的特征。马角坝-灌县断裂往东至逆掩断层消失、反向冲断层出现处之间，为前缘推覆褶皱带；在该带内发育有一系列隐伏的叠瓦冲断层，这些断层分别在各主要滑脱层面上变平滑脱。背斜构造主要呈不对称的同心褶皱，一般表现为东南翼陡、西北翼缓。该带的变形特征反映为浅层次的脆性变形，并且发育有大量正向、负向构造，形成了有利的油气圈闭。综观四条解释剖面还可发现，向盆地方向，断层规模变小，断带的地层逐渐变

表 3 龙门山冲断层频率图



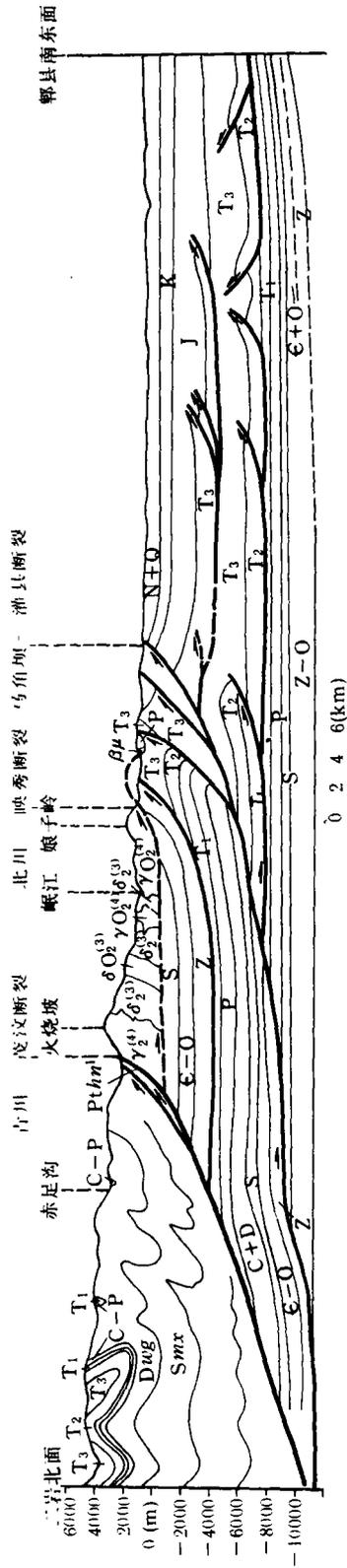


图6c 龙门山中段理县二岩一郫县地质地球物理解释剖面图

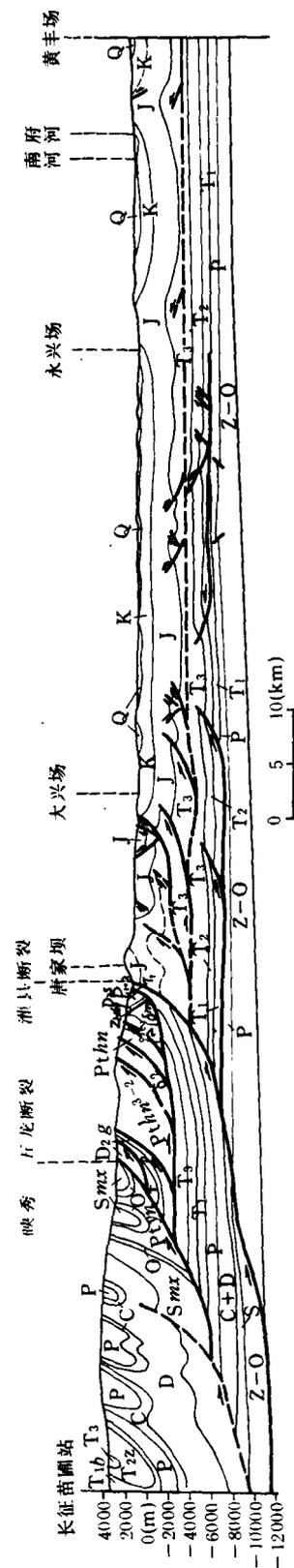


图6d 龙门山南段宝兴县长征苗圃站—彭山县黄丰场地质地球物理解释剖面图

小,各断层向下延申到达的深度逐渐变浅,反映出龙门山褶皱冲断带的发育为“背驮式”(piggyback)迁移。由于龙门山的北段、南段受各自邻区构造体系的影响,虽有一致的迁移方式,但又各具特点。在北段的姚渡—太公寺剖面,主要滑脱层面为盖层与基底之间界面和志留纪地层,断层、褶皱主要发育于隐伏于地下的志留系至中三叠系之间。而在南段的长征苗圃站—黄丰场剖面,主要滑脱层面为盖层与基底之间界面、志留系、下三叠系及上三叠系,断层、褶皱发育于志留系以上地层。总之从北往南看,断层规模变大、断带的地层变新、滑脱层面变多、地表断褶更为发育。并且研究表明龙门山推覆构造是经过多期运动的叠加所成。龙门山从寒武纪至中三叠系处于扬子地块西缘的大陆边缘带上,南段宝兴一带在早二叠末至晚二叠,有川滇南北带大规模玄武岩喷发,主要构造格局以隆起和凹陷为特征。印支早、中幕龙门山区大面积抬升,由于秦岭海的关闭,造成龙门山北段抬升较早,表现为缺失 T_2l' 、 T_2t 、 T_3m 层位,且在昭化龙王洞处的野外露头可见 T_3t 与 T_2l 不整合接触;而在中段地层无缺失。印支晚幕在本区发育了冲断-褶皱带雏形,到了燕山—喜山期,龙门山继续受区域推挤压力作用,形成了大规模的冲断-褶皱带,同时在前渊沉积了与推覆带相关的5套砾石,即 J_1b 、 J_3l 、 K_1j 、 N 、 Q_2 。上述不同段的构造特征和演化特征,反映了龙门山褶皱-冲断带的演化具有时间上的差异性与阶段性,并且也说明了前陆盆地由北向南、由西向东的迁移性。依据地质和地球物理的研究成果,给出了龙门山推覆构造带的迁移模式(图7)。

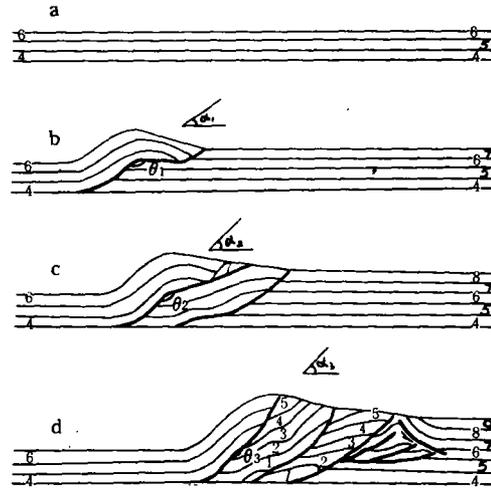


图7 龙门山推覆带迁移模式示意图

a. 开始阶段; b. 侏罗纪(青川-茂汶断层形成期); c. 早白垩世—早第三纪(北川-映秀断层形成期); d. 晚第三纪—第四纪(江油-灌县断层形成期)。图中 $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$, $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$, α 为断坡角

在解释地质地球物理剖面的过程中,对龙门山前缘部分与造山带联系较为紧密的地震剖面进行了解释,主要有双-S-12线、安-S-26线、川-S-6线、鸭-S-2线、崇-D-16(W)线等。从解释情况看,冲断带构造解释工作设想作为一种指导思想,极大地帮助和指导了对进山部分地震剖面上的复杂反射的解释,如安-S-26线的解释(图8)。

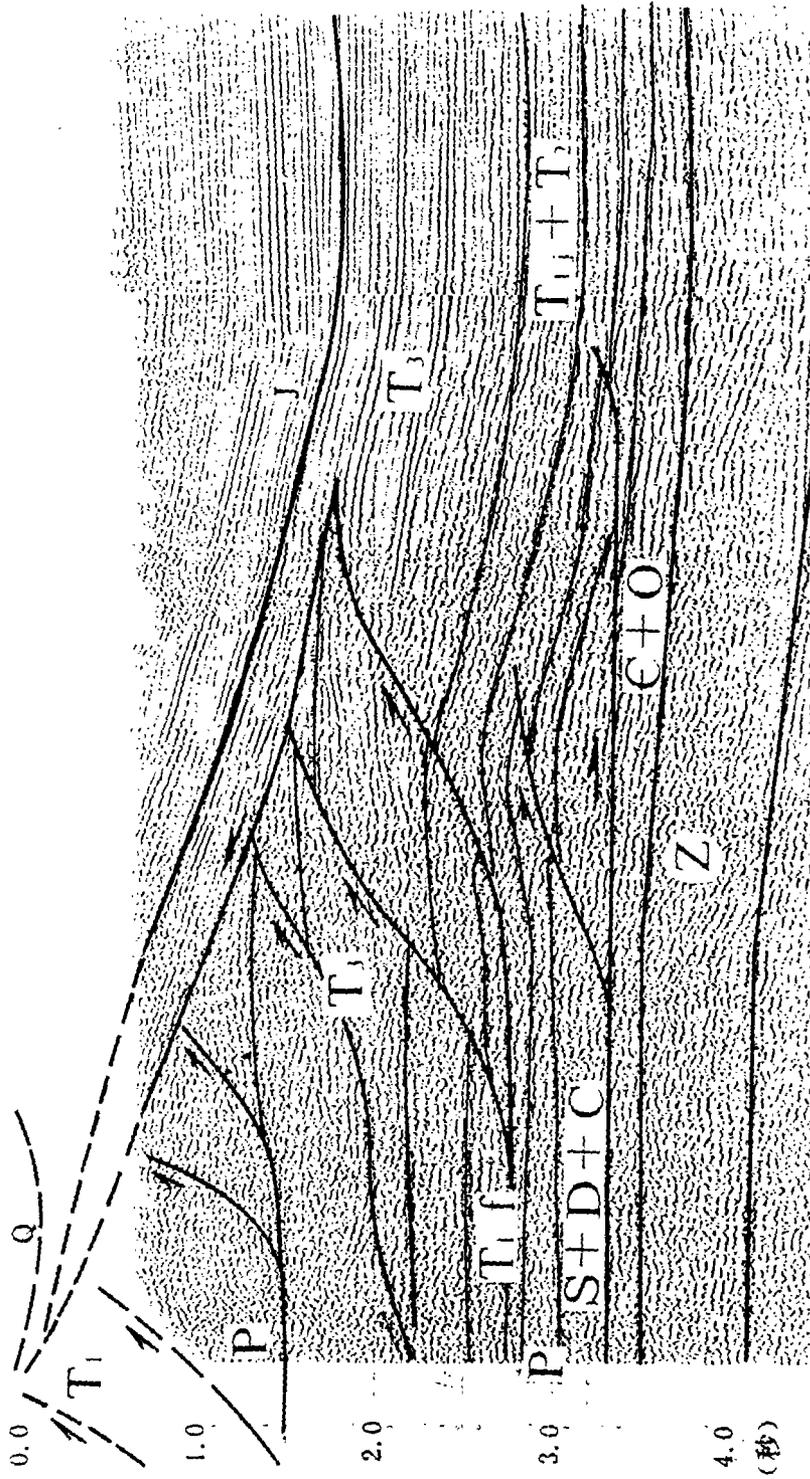


图 8a 安-S-26 线时间剖面

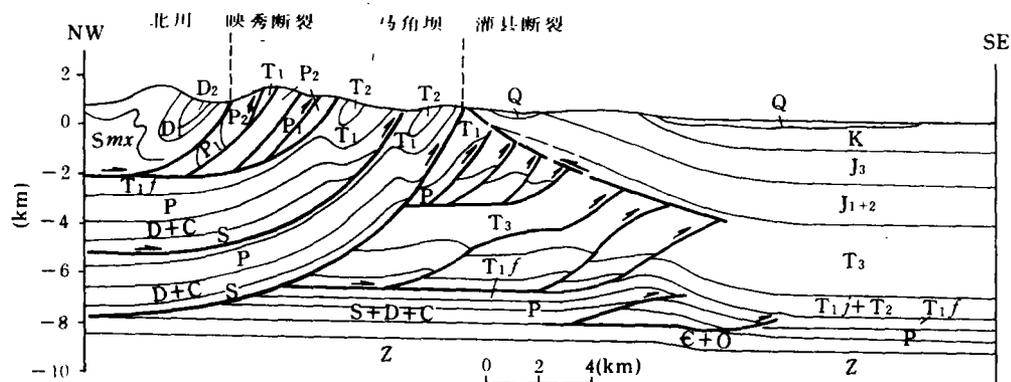


图 8b 安-S-26 线地质地球物理解释剖面(地质剖面经地震剖面延伸所得)

4 与油气的关系

目前勘探工作已经表明,龙门山前缘带有较好的油气显示,并且发现由逆掩断层控制的滚动背斜构造,以及在前缘带中隐伏逆掩断层终止端所构成的圈闭均为良好的油气储存场所,譬如中坝油气田。而处在现今龙门山深部被掩覆的古生代、中生代地层有良好的生油圈闭条件,从解释剖面上看(图 8b),在龙门山之下的中、古生界中,存在大量与断裂有关的圈闭构造,从而提供了勘探的新领域、新场所。所以通过地质地球物理方法对前缘带深部构造情况的合理解释将有极其重要的意义。

本工作得到了盆地构造室主任张渝昌高级工程师(教授级)的指导。

(收稿日期:1991年12月28日)

参 考 文 献

- 1 Boyer SE. Style of Folding within Thrust Sheets, Examples from the Appalachian and Rocky Mountains of the U. S. A. and Canada, *J. Struct. Geol.*, 1986, 8, 325~340
- 2 Jamison WR. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes, *J. Struct. Geol.*, 1987, 9, 207~219
- 3 Morley CK. A Classification of thrust fronts, *AAPG Bull.*, 1987, 70(1):12~15

GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL INTERPRETATIONS FOR THE FORELAND OF THE LONGMENSAN, WESTERN SICHUAN

Xu Xuhui

(Central Laboratory of Petroleum Geology, MGMR)

Abstract

On the basis of the data derived from surface geologic observation and geophysics, the author considers that the Longmenshan Area and its foreland are characterized by the alignment of east—west zones and south—north blocks. Consequently, five fault models are established respectively for listric faults, terrace-faults, undulate faults, dome-faults and strike-slip faults, as well as two folding structural models related to faultings and fault assemblages. Thereafter, it is proposed that the area underwent piggyback shiftings from east to west during the time of the Indosinian—Xishanian and four detachments have been brought about along the four tectonic levels at the bottom of the Upper Sinian, Silurian, Lower and Upper Triassic systems respectively. It is believed that the excellent structural traps closely related to thrusts would develop in the Palaeozoic and Mesozoic systems, at the deeper depth of the Longmenshan Foreland.