

龙门山推覆构造带中段前缘构造浅析

曹伟

(地质矿产部西南石油地质局, 成都 610081)

本文分析了逆掩断裂带的动力学、运动学和几何学形变特征,并以川西彭县鸭子河构造为例,重点解剖龙门山推覆构造带中段前缘的构造特征。提出龙门山中段前缘为一以叠覆双重构造为特征的隐伏冲断构造模式,其主断层末端未波及地表,滑动多转化为顺层滑脱,形成应力消减的前缘三角带,而数条低角度的冲断层形成造成顶、底板主滑脱层之间地层的多次重叠和厚度的剧烈加积。

关键词 褶皱-冲断带前缘 变形特征 构造模式 油气勘探

作者简介 曹伟 男 32岁 工程师 石油地质

1 勘探及研究现状

推覆构造地区寻找油气是当今石油地质工作者的一大课题。北美落基山逆掩断裂带及我国新疆克拉玛依逆掩断裂带油气勘探都取得了很大的成果。近几年来,继我国克拉玛依油田之后,委内瑞拉在逆掩断裂带之下又找到了两个特大型油田。龙门山前缘带从北至南相继发现了中坝、鸭子河和平落坝等重要含油气隐伏构造。其中中段的鸭子河构造是人们十分关注并寄予很大希望的含油气构造。经多年的勘探现已完钻5口(图1),产气较好的川92井仅产2万余立方米。最西边的川126井正在钻进,钻进中无论在地层还是构造方面都遇到了不少困难。

尽管对该构造的勘探及研究都取得了一定的成绩,然而,由于褶皱-冲断带构造地质本身的复杂性,多年的实践表明人们对该区的认识并未取得突破性的进展,其主要表现在对该区的构造解释上。实践表明川西油气藏有两个特点:一是绝大部份油气藏是背斜油气藏;二是该区产层属致密储层,油气产出往往受裂缝系统的控制。因此构造形态的正确解释就成为了解构造高点及裂缝发育分布规律的关键。由于褶皱-冲断带构造的复杂性以及它们常位于隐伏冲断部位,地震反射剖面 and 地表地下资料通常无法详细地确定这些构造的位置及几何形态。该区中段构造横剖面解析和模式一直是一个尚需探讨和进一步研究的问题。那么,解决上述问题的途径是什么?

2 对逆冲断层产状的认识

自“thrust”(冲断层)一词被首次提出以来,一个多世纪过去了。在这100多年里,对褶皱-冲断带愈来愈多重要油气田的发现,人们对冲断推覆构造的理论研究给予了更大的重视。笔者通过对大量资料的研究分析,结合本区的实际情况,得出下列两点认识。

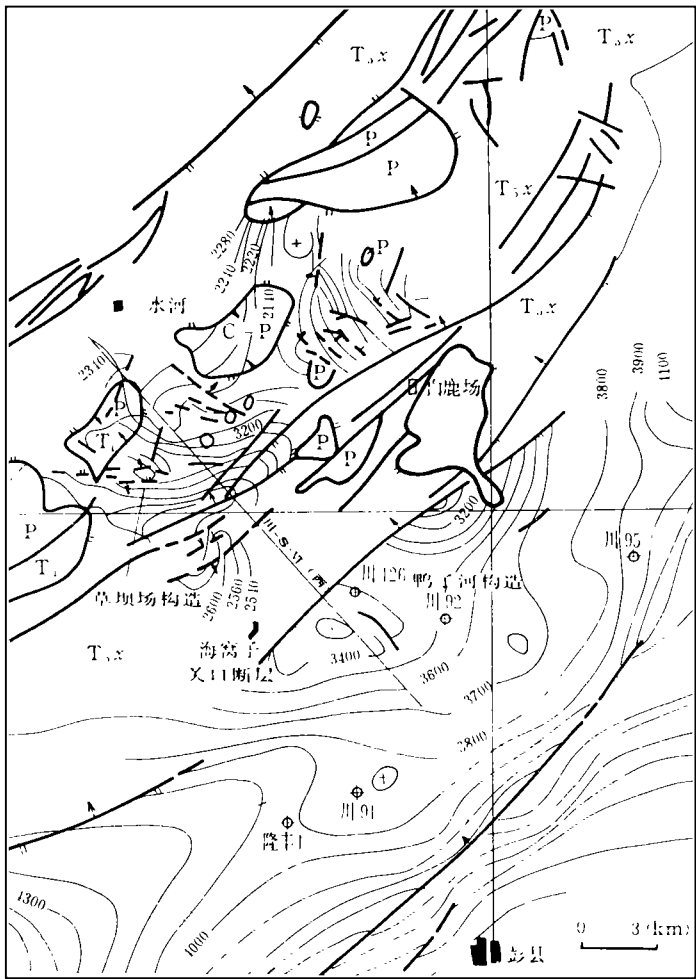


图1 龙门山推覆构造带中段前缘构造分布图

1. 标地层代号者,为地表出露之地层;2. 鸭子河构造地区为须二段(T_{3x^2})顶面构造图;3. 草坝场构造地区为雷口坡组顶面构造图;4. 川126井附近等深线与实钻相差较大,尚需进一步研究

(1)逆冲断层下倾方向产状的变化。在逆掩断层带,对断层产状的认识,地质学家经历了一个不断修正的认识过程。人们最早从地表露头看到陡倾的逆断层,认为这种大倾角一直保持到地下深处。后来由于深部勘探资料的积累,才逐渐发现这些断层多为上陡下缓的低角度逆断层,高角度并未向深部延伸,而是向下收敛于某个滑脱层面(Berger et al., 1980)。我国新疆克拉玛依地区就经历了这样一个过程。

克拉玛依油田是在区域性单斜背景下受断裂切割和封闭的地层圈闭油藏。克乌断裂是由几条主断裂组成的一条隐伏大断裂。从发现油藏到1979年的24年间,都一直认为大断裂属高角度逆断层,后来大量事实证明为一低角度逆掩断裂。这是逆掩断层下倾方向的变化情

况,它很可能在其下端归顺于某个滑脱层面,即形成所谓的叠瓦扇构造。

(2) 逆掩断层上倾方向产状的变化。现在地质学家已发现当逆冲断层下倾和上倾方向分别收敛于下端的下滑脱层和上端的上滑脱层时,就形成了由顶、底板冲断层及所夹断块所组成的双重构造(duplex)(图2)。而且业已发现,许多情况下冲断前缘的断层并未向上切穿地层到达地表或突然终止,而是断块头部下掉,断层收敛于某个滑脱层,俯冲于上覆盖层之下,上覆盖层反向逆冲,在这里形成一种双重构造的叠覆构造(shankar Mitra,1986)。前缘的这种构造区称为三角带(图3)。我们在地表所看到的是陡立的单独断层,很少发现陡立断层向上或向下收敛于滑脱层,主要有两个原因:一是这种滑脱层平行或近于平行地层层面,不易与地层层面区分,物探也不易识别;二是地表剥蚀面,如果遭受了较为强烈的剥蚀,则看到的就是单个的陡立断层,不同的剥蚀面就存在不同的地表构造形态。

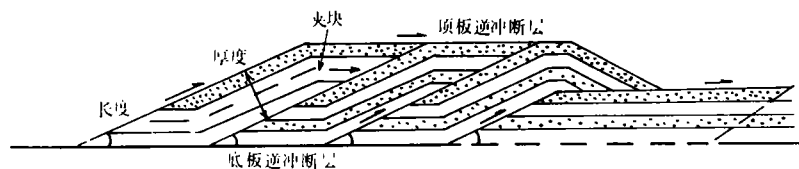


图2 双重构造的一种模式

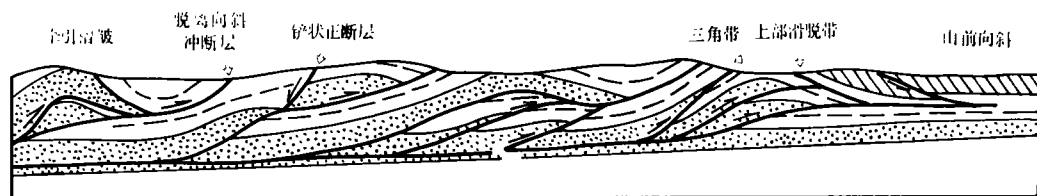


图3 典型的冲断层带

(据 P. B. Jones, 1988)

图上表示冲断层和铲式正断层、叠覆构造、俯冲前陆边缘等,这些构造均可由正演模拟程序产生

如果说陡立断层下倾方向收敛于某个滑脱层的叠瓦构造概念是褶皱-冲断带构造理论的一大进步,那么,逆冲断层收敛于冲断前缘上覆地层之下某一滑脱层并产生顺层滑脱的构造概念则是褶皱-冲断带构造理论的又一大进步。尤为重要的是这一概念为石油地质工作者对冲断前缘油气勘探的认识提供了有益的帮助(图2、3)。

3 龙门山中段前缘构造分析

3.1 鸭子河川-S-Ⅵ(西)地震测线构造概况

川-S-Ⅵ(西)地震测线剖面为近NNW-SSE方向,基本垂直于褶皱-冲断带延伸方向。该剖面横穿鸭子河构造(图1)。图4仅是川-S-Ⅵ(西)地震测线的一种地震地质综合解释剖面,

基本上反映本地区断层、地层等方面的构造地质轮廓。关口断层显示总体上较为清楚,是一上陡下缓的产式大断层,限定了鸭子河构造西北的边界。最上部为第一滑脱层,位于第二滑脱层之上,由于地表剥蚀作用仅残留不完整的推覆席,造成冲断前缘地区大量的飞来峰构造(见图1)。由于与深部圈闭关系不大,剖面一般不作标示。关口断层东南构造简单。西北部构造复杂。称为“两层式”构造,上层构造变形强烈,表现为一系列的褶皱和陡立的叠瓦断层,下部构造断裂相对较少,褶皱较为宽缓,上下构造层之间为一弯曲的滑脱面,即第二滑脱面、上滑脱面。

上下构造层构造极不吻合,表现为完全不同的构造格局,尤为突出的是关口断层附近,断层、地层产状及几何形态无法详细确定,地震反射信号差,波组对比十分困难。特别是关口断层末端显示极差,发育及形态尚存疑问。川126井钻井资料亦证实地下构造复杂,构造形态尚待查清。目前的解释方案(图4)与川126井钻井资料明显存在下列差异:关口断层末端构造形态与实钻不符;地层层分深度,特别是 T_3x^2 顶面深度与实际深度相差太大,预计在海拔高程-3400m左右钻达,实际至-4200余米仍未钻达 T_3x^2 。因此,如何更接近于客观事实来解释该区的构造是指导油气勘探部署的重要任务。

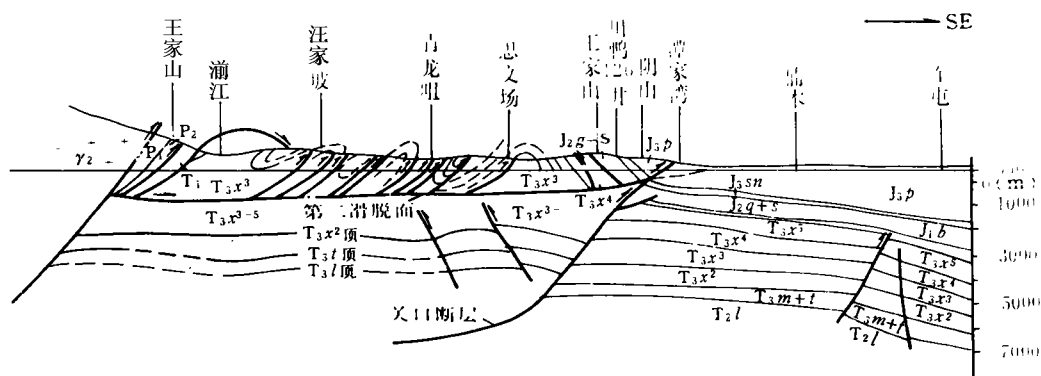


图4 四川彭县川-S-VI(西)测线地震地质解释剖面图
(一种解释方案)

3.2 平衡剖面理论的引入

编制准确的构造剖面对于地质工作者来说是十分重要的。Dahlstrom(1969)早就系统地提出了平衡剖面法。实际上,由于逆掩断裂带的地层、断层的复杂性,平衡剖面编制方法是在许多冲断前缘带发现油气田之后从编制油气田地质剖面中发展起来的。沉积岩层的变形遵循一定的运动学、动力学和几何学原理,平衡剖面方法就是在获得大量的钻井资料实践检验之前的一种解释褶皱、断层、地层及相互关系的一种几何学检验方法。目前已广泛应用于冲断前缘油气田地质剖面的编制。它是判断、检验所解释剖面是否正确的一种重要方法。

3.3 剖面构造解析

笔者广泛收集了各种相关资料和国内外冲断推覆构造前缘的构造模式,分析本区岩石力学特性及构造型式。本区冲断前缘为一隐伏的叠覆构造,顶板滑脱层位于 T_3x^5 上部的泥页岩层中(亦是上层构造的底板冲断层),底板冲断层位于 T_3x^3 层下部的泥页岩中,选定

T_3x^4 底的砾岩层作为本区横向上较为稳定的标志层。

3.3.1 两条大断层的情况

一是上构造层叠瓦扇之下的滑脱层,即第二滑脱层;一是关口断层(图4)。这两条断层的末端是否上延切割侏罗系通天,目前意见尚未统一。据反复实地踏勘和资料反映,显然地表露头未见明显的断层显示,钻井在侏罗系也未见到断层,地震资料证实关口断层在侏罗系以下反射清楚,而以上附近反射不清。因此必须对这类大型断层的“突然终止”作出恰当的解释。

据统计,全世界前陆冲断系统的几何形态中,29个前陆冲断系统,其中只有9个是完全出露的,20个至少是部份隐伏的,11个系统的主体部份是完全隐伏的。这个统计告诉我们,隐伏断层是前陆冲断系统中极其重要的组成部份。如果断层不出露地表,其滑动没向地表转化,而隐伏地下,即形成所谓的“盲断层”,那么前缘的断层终止使其滑动如何转化的呢?根据平衡剖面理论,同一断层的位移量应当一致,断层滑动的转化形式有三种可能的原因:(1)断层沿倾向转变为褶皱;(2)断层发生分叉;(3)断层面发生弯曲,发生层内滑动。

上滑脱层及关口断层的末端延伸究竟在何处,存在几种看法:(1)高角度上延出露地表(如图4所示方案);(2)高角度上延终止于地表之下 J_1b/T_3x^5 不整合面之上的侏罗系内;(3)笔者认为低角度弯曲直至顺层滑脱。首先,前已述及,断层未出露地表。其次,这种长距离位移的大型断层高角度终止于侏罗系内,而在断层终止点附近没有发现明显的上述断层滑动的转化迹象,如断层传播褶皱、主断层之上分叉的小型叠瓦断层等。第三种解释较为合理,上滑脱层延伸过了关口断层到达东边,关口断层形成较晚,下倾方向倾角变缓归顺下部某一滑脱层,上倾方向高角度在其末端发生弯曲倾角变缓归顺于早期形成的滑脱层,将其大的位移转化为顺层滑脱。业已证明,在许多情况下冲断层并未断至地表,而是位于地表之下,往往与上覆已存在的顺层逆掩断层或上部的滑脱面合并,形成一个叠覆构造(Shankar Mitra)。

3.3.2 关口断层西北侧第2滑脱面之下的反冲构造

关口断层西北侧第2滑脱面之下解释了数条倾向南东的反冲断层,与关口断层一起形成所谓“Y”型构造(图4),这是否与本区构造特征相符值得仔细研究。美国西部落基山前缘油气勘探史说明,对这类复杂构造的研究也经历了逐步修正直至获得较为清楚的认识过程。关口断层附近地层、断层反射波组交错,甚至造成反射空白带,构造形态复杂,可能造成无法控制断层倾向,给物探解释带来极大的困难。从综合地质分析的角度出发,笔者提出另一种解释方案。

构造型式就是一群相关构造的总特征,这种总特征使它们得以与其它构造群区分开来。近年来在石油构造分析中广泛应用构造型式来预测或外推地下石油圈闭^①。构造型式就象地质学家之间进行交流的一种符号,一定的地区、一定的地质背景条件下就应该具有其一定的构造型式,不同的地质背景条件下具有其不同的构造型式、构造“家族结合”形式,对观测事实进行归纳,我们不仅要注意龙门山构造带纵向上北、中、南段的构造差异性,而且也应注意横向上各段的构造相似性。按横向上构造分带,中段鸭子河构造位于前渊带西侧和前山带

① 刘和甫,石油构造分析,1987

以东。北段的中坝构造位于前渊带,与鸭子河构造所处地质背景有差异。而南段的三合场、水口场及平落坝等构造位于前渊带,比上述各构造更远离造山带,更接近川西拗陷,其构造多以“Y”型特征为主。鸭子河构造与上述构造相比处于不同的地质背景环境中,因而应具有不同的运动学、动力学和几何学特征,并表现出不同的构造型式。鸭子河构造关口断层西侧的系列断层产状应以北西倾为主,与本区构造特征上断层、褶皱轴面“一边倒”(向西北)的力学机制相协调。沿冲断方向延伸,同南段前渊带一样表现为“Y”型构造,再沿冲断方向延伸至拗陷东坡石泉-合兴场构造,主要表现为反“Y”型构造。其构造特征受所处的力学机制条件所控制。

3.3.3 滑脱层的确定

根据本区各层段的岩石力学性质,最可能的滑脱层是 T_3x^3 内的泥、页岩层,其次是 T_3x^5 内的泥页岩层。 T_3x^3 滑脱层已导致了长距离滑移的上构造层推覆带(图4)。上构造层的 T_3x^3 地层从西部推移至现在的位置,在本剖面内上覆于上组合之上,由此可推知在本剖面外西侧推覆体的根带也一定存在 T_3x^3 下部这个滑脱面,这是一个强塑性的滑脱面。再之,综观本区大量的地震剖面,发现下构造层上部有一列断层,其上端近于与上部的第2滑脱层相连,其下端断层终止点多位于 T_3x^3 层位下部附近,或在 T_3x^3 下部附近发生弯曲倾角变缓。可以认为这些断层多向下变缓,在 T_3x^3 层位附近转化为层内滑动,形成了一种双重构造的底板滑脱层。当然也不能排除一些较大的断层切穿 T_3 直至更深的滑脱层。毋庸置疑, T_3x^3 地层是本区极其重要的滑脱层。

3.3.4 钻井揭示地下地质情况

迄今为止,正在钻井中的川126井实钻揭示表明,井身剖面上,在见到 T_3x^3 以前, T_3x^{4+5} 地层厚度重复了两次。在见到 T_3x^3 后, T_3x^3 内部岩性也见有重复现象, T_3x^3 钻厚为2313m,与鸭子河构造其它各井的平均钻厚1026m相比,厚度增加了123.44%。该井钻进中遇阻、卡钻及井漏现象时有发生,地质情况十分复杂。证实至少有4条大断层存在。该井斜度也较大,井深0~1000m井斜主要保持在2°以内;1000~3330m井斜由2°渐增至13°,3275m井斜最大为13.27°;由此测至4100m井斜降为8.25°,向下有逐渐变小的趋势。井斜总的方位角趋势为北西方向,约为300°左右。 T_3x 内的6次取心由上至下倾角为50°±~11°±,有逐渐变缓的趋势,与井斜资料较为吻合。由此可以推知,地层由上至下发生的变化,即地层产状分为三套。第一套, T_3x 以上的新地层,受断层影响较小,产状变化较为稳定。第二套, T_3x^{3-4+5} 所组成的地层,由于在 T_3x^3 存在一个强塑性的滑脱层,在此形成了较多的逆冲断层,并使地层发生了较大的位移,地层在此处发生了强烈的加积增厚作用。由上至下由于愈来愈接近滑脱层和滑脱层之下的较稳定、受冲断作用扰动较小的 T_3x^3 地层,其地层产状渐趋变缓并近于正常。第三套,为 T_3x^3 下的老地层,在滑脱面之下,地层产状近于正常。第一、三套地层基本上为原地系统,第二套为由西推来插入的外来系统。

综上所述,参考目前多种解释剖面(如图4等),以勘探实钻特别是川126井为重要事实依据,结合物探、区域地质资料,剖析鸭子河构造所处的构造地质环境条件,提出并编制了中段逆掩冲断构造模式,反映了该段的各构造单元及其构造地质特征(图5)。该前缘象其它一些冲断前缘一样,位于冲断带与前渊带的接合部,代表了特定的构造地质环境。由顶、底板冲断层及所夹断块组成的双重构造发展成为叠覆构造,断层前缘几何形态形似楔子一样俯冲

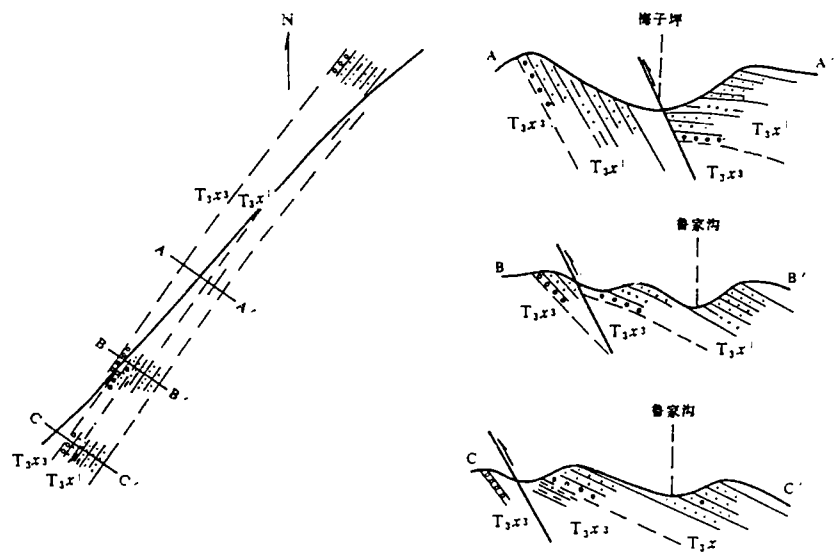


图 5 龙门山中段逆掩冲断带构造模式

顺层插入上覆年轻地层之下，断层消失于前方某点即顶端线(Boger et al. ,1980)。此为冲断前缘应力消减带，亦称前缘三角带，地表特征表现为前缘向斜或单斜构造，并在上覆年轻地层中形成了反向冲断层(图 6)；地下特征表现为数条断层造成地层的多次重复和厚度的剧烈增加。

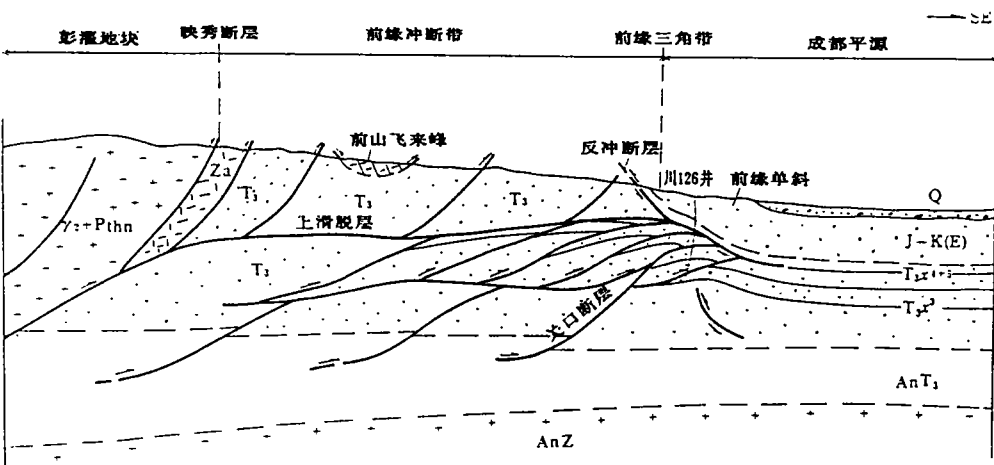


图 6 彭县通济鲁家沟狮子山砂岩断接关系图
(据吴承业踏勘素描)

4 结语

龙门山中段前缘为一以叠覆双重构造为特征的隐伏冲断构造,主断层末端未断及地表,滑动多转化为顺层滑脱,在这里形成了应力消减的三角带,而数条低角度冲断层的形成造成了顶、底板主滑脱层之间地层的多次重叠和厚度的剧烈增厚。从研究褶皱-冲断带的运动学、动力学和几何学特征入手,来认识冲断带前缘这种特殊的构造形态,对于进一步指导油气勘探部署上具有重要意义。

本文编写过程中承蒙安凤山、郑祖燕两位高级工程师的指导,在此谨表谢意!

(收稿日期:1992年1月27日)

参 考 文 献

- 1 Berger P., Johnsin AM. First Order Analysis of Deformation of a Thrust Moving over a Ramp. *Tectonophysics*, 1980, 70(2):201~212
- 2 Shankar Mitra. Duplex Structures and Imbricate Thrust Systems: Geometry, Structural Position, and Hydrocarbon Potential. *AAPG*, 1986, 70(9):1087~1112
- 3 Dahlstrom CDA. Balanced cross Section, *Can. J. Earth Sci.* 1969, 6(4):743~757
- 4 Boyer SE., Elliott D. Thrust Systems. *AAPG*, 1982, 66(9):1196~1230

ON THE OVERTHRUSTING TECTONICS OF THE FRONT MARGIN ALONG THE MIDDLE SECTION OF THE LONGMENSAN TECTONIC BELT

Cao Wei

(Southwest China Bureau of Petroleum Geology, MGMR)

Abstract

In this paper, the comprehensive studies are carried out on the tectonic characters of the front margin along the middle section of the Longmenshan Overthrusting Belt based on the analysis of dynamics, kinematics and geometric deformations on the overthrusting belt with the example from the Yazhi River Structure in Peng County, west Sichuan. It is proposed that the tectonics of the front margin along the middle section of the Longmenshan Overthrusting Belt should be a superimposed duplex tectonic characterized by a buried overthrusting tectonic model, of which the major detachment is not outcropped. The transformation of the detachment into decoupling structure brought about the stress relief zone of front delta-belt while the multiple superimposition and increasing thickness of the imbricated overthrusts should consist of a number of low angle overthrusts between the roof and footwall of the major detachment.