

试论生长逆断层带的活动及其油气勘探问题

吴庆福

(新疆石油管理局勘探开发研究院)

生长逆断层带主要指我国西部挤压型盆地周缘古生代褶皱山系与陆内盆地边缘之间的冲断带。它的活动可分为：(1)上盘为主动盘的冲断活动期，(2)下盘为主动盘的潜滑活动期，(3)由差异沉积为主导的向上长入活动期；构成一个完整的活动旋回。复杂冲断带可能是多次旋回活动的结果。冲断带的油气勘探，宜选择与生油凹陷相伴随的隐伏冲断带和早期活动强、晚期活动弱甚至休眠的隐伏冲断带。

一、问题的提出

自本世纪六十年代以来，中外地质学家对重力作用下的生长正断层及其同生的滚动背斜颇为关注，在此领域内的石油勘探也取得成功，仅尼日尔三角洲就发现此类油气藏200多个。目前对此类构造的研究已达到了应有的深度和广度；但对生长逆断层带的研究，国内外尚缺乏有影响的研究成果，对其活动机制也未建立起相应的模式，本文贸然尝试大胆陈言。

本文所说的生长逆断层带不包括沉积盆地内因挤压或走向滑动而发生在塑性层序中的局部性逆断层，此类断层一般属于塑性形变时弹性不能再分配的一次性破裂形变，它是不具有生长基因的；也不包括 Bally 所定义的B型俯冲带 (Benioff-type) 及在大陆一侧硅铝壳内对称出现的A型俯冲带 (Ampferer-type)，此类冲断带无疑是具有特定的生长模式的，它属于统一动力学系统的巨型特殊构造类型。所谓生长逆断层带是单指我国西部挤压型盆地周缘古生代褶皱山系与陆内盆地边缘之间的冲断带，以及盆地内可作为二级构造单元分界的区域性逆断层。此类断层带本身往往就是某一地质块体的边界，由于板块运动的触发或沉积加载的不均衡，必然表现出后期的生长活动——同生性活动。

二、生长逆断层活动的几何学及伴生相

1. 上盘为主动盘阶段性冲断活动时期—— $(O_v - E_v) > S_v$ 活动期

即上盘推举速度 (O_v) 减去上盘在外营力作用下的侵蚀速度 (E_v) 大于下盘沉积速度 (S_v) 的动力学环境中，就沉积环境而言是处在水退旋回中进积条件下。

这里要说明的是本文为什么要强调 $(O_v - E_v) > S_v$ ，而不是直接以 $O_v > S_v$ 而定其动力学环境。作者认为此阶段中作为物源区的上盘必然经受强烈的侵蚀作用，而侵蚀速度

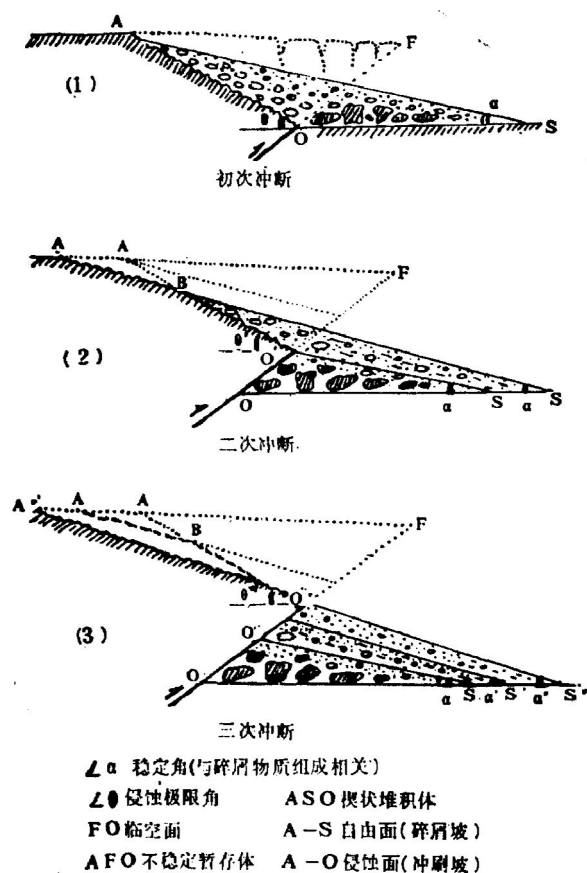


图1 上盘为主动盘阶段冲断生长活动模式
($O_v - E_v$) > S_v

$\angle \alpha'$ 所限定的自由碎屑坡, 其上盘堆积物边界点退至侵蚀面拐点B处(图1-2)。第三次推举活动如图1-3所示, 上盘第二次推举后的堆积物又被冲蚀转积于下盘呈河流相沉积, 上盘溯源侵蚀面后退至A''点, 侵蚀面拐点将被削平, 当 $\angle \theta'' = \angle \alpha''$ 时, 即上下盘达到了暂时的均衡条件下, 则形成仅有下盘保存的正向钝角三角形楔状体。

上述分析绝非纯理论的或者是简单的几何补位分析, 而是有众多的勘探实例作依据的。如大家熟知的准噶尔盆地西北缘车-夏冲断带的冲断活动就是如此, 此冲断带结构复杂, 各段发育历史亦有差异, 但反映不同地段初期——上盘主动冲断推举活动的地震反射剖面却有近似一致的共性形态。

图2为准噶尔盆地西北缘冲断带北端的夏-红断裂段, 从剖面看它的上盘主动推举冲断活动主要发生在三叠纪早期——早印支期, 三角形楔状重力堆积体延伸16km即消失。

图3为西北缘冲断带中段的百口泉断裂, 它的上盘主动冲断活动发生在早二叠世时期。下二叠统(P_1)为一套典型的含火山碎屑岩的磨拉石堆积, 构成的楔状体在断层下盘可厚达2000m, 但向玛湖凹陷延伸不足40km即尖灭; 该段下部紧临断面的三角楔纯属冲断推举初期阶段形成的重力崩积体, 它延伸不足6km即消失。

的向量值是与推举速度向量值相反的, 也只有在推举速度 O_v 远大于沉积速度 S_v , 而不是略大于的条件下, 才可能有本文模式中断层崖的存在, 以及本文实例剖面中楔状重力堆积体的伴随。

由于此阶段属阶段性快速冲断推举性质, 所以每次推举时必然形成可容性空间极大高举临空的断面, 上盘失稳的重力位能, 势必转化为动能而崩坍并形成重力崩积楔状体, 继之则随着溯源侵蚀, 坡积、洪积也溯源而上广泛发育直至达到理论上的稳定角($\angle \alpha$)所限定的自由碎屑坡形成为止, 从而形成反向钝角三角形堆积体(图1-1)。在第二次阶段性冲断活动中, 上盘已形成的坡积、洪积物则随着推举而抬高临空, 继而随着溯源侵蚀面的后退至A'点而被冲蚀殆尽, 作为下盘新的冲洪积层而加积于原楔状重力堆积体上; 当溯源侵蚀面趋于稳定时, 上盘继之堆积着新的洪积坡积层并与下盘沉积物构成由

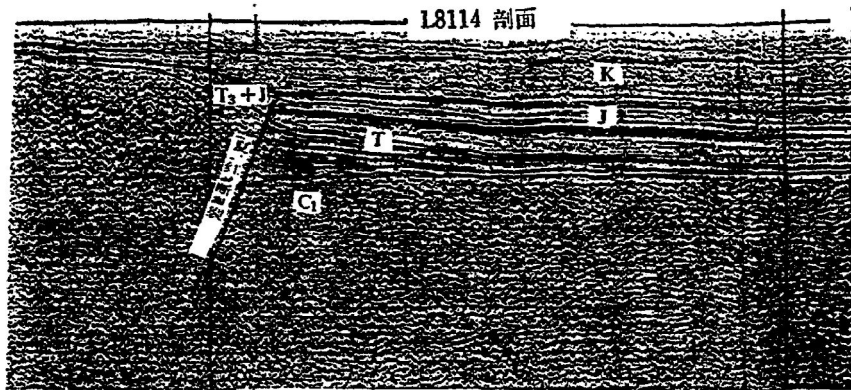


图2 L 8114 剖面图

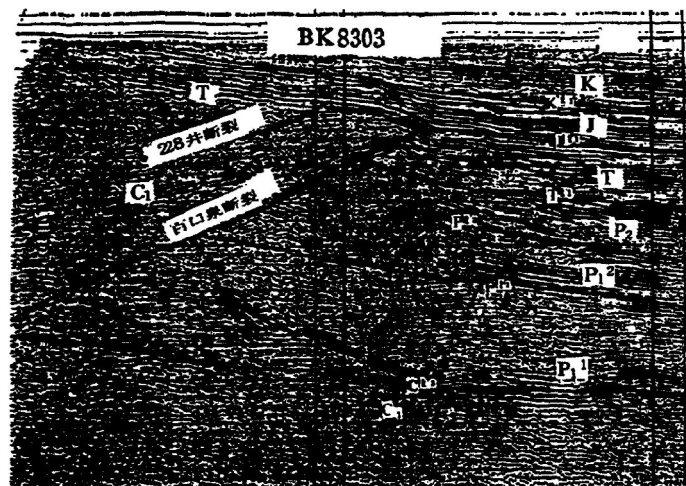


图3 BK 8303 剖面图

上述剖面展示的形态在乌伦古断陷北侧的吐丝托依拉断裂、盆地东部紧临五彩湾凹陷的滴水泉南断裂、盆地腹部与漠区凹陷相依随的陆南断裂下盘皆可见到，所不同的是上盘主动冲断活动的时期各有先后之分。一般地说，盆地周缘冲断活动较早，多为晚海西及早印支期；腹部稍晚，属早印支—早燕山期。

2. 下盘潜移滑动同生性活动时期—— $O_3 \approx S_1$ 活动期

此阶段的动力学条件属典型重力作用下的均衡补偿，单就下盘而言也可理解为 $S_1 = D_1$ (D_1 为沉降速度)、上盘可视为休眠状态。生长活动基本上可同正断层生长活动类比，但其差异乃是：正断层的生长活动是在张性应力控制下沿犁式断面异向拉开，而逆断层则是沿犁式断面相聚且下盘潜移下滑，动力同属一源——重力，量级相等唯方向相反。罗志立在论述C型冲断带形成机制时，认为俯冲断面的形成是由于重力荷载而将原来的正断面改造而成的论点^[1]，本文是持异议的；笔者认为地质体的变形是不可逆的，另外断面倾斜的方向性及断面本身就是制约相邻地质体在变形时的边界条件，更何况正、逆两类断层的两盘运动方向相背而驰。

在均衡补偿相平衡的阶段也是水进旋回的初始时期, 侵蚀物源远离, 进积量同可容性空间相平衡; 上下盘可皆有沉积, 唯下盘为巨厚的河湖相交替的层状层序, 无重力楔状体存在。此阶段为逆断层持续性潜滑生长活动的典型时期, 而在长期的潜滑运动中将原来的高角度冲断面改造成为低角度俯冲断面。

图4为西北缘冲断带白碱滩段用钻井资料所作剖面。潜滑俯冲同生活动阶段相当于上二叠统至中三叠统沉积时期, 上下盘相应地层厚度相差可达2—5倍(上盘有无上二叠统尚有争议), 巨大的厚度差所产生的荷载是下盘成为主动盘而潜滑俯冲的主要力源, 以缓断面为其特征。当然此阶段也不排除由于板块活动而使上盘发生短暂的推举, 甚至使上盘地层遭受侵蚀而残缺; 这里只是强调此阶段能表现出持续性活动的主因素及主动盘何属的问题。此阶段冲断面在生长活动中时隐时显, 但绝不会高举临空, 因此一般不存在重力堆积的楔状体。

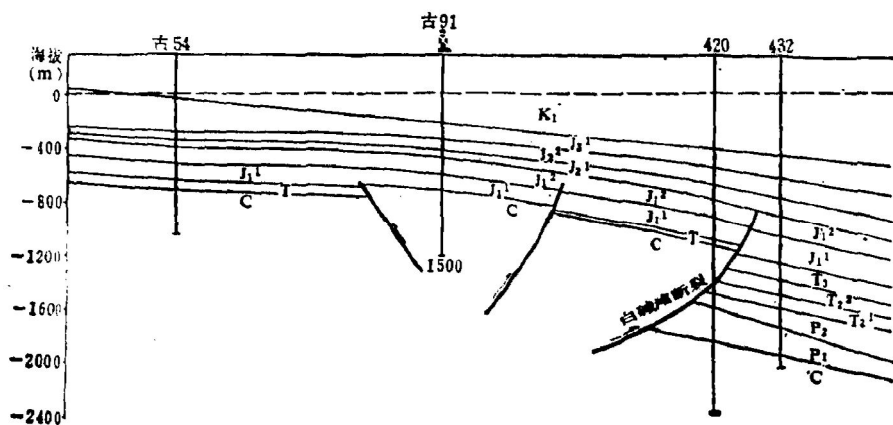


图4 九区古91井过井剖面

3. 由差异沉积而主导的向上长入活动阶段—— $O_2 < S_1$ 活动期

此阶段为广泛水进时期, 冲断带所在处已不再是沉积盆地边部而是处于沉积凹陷之中了, 上下盘皆有沉积惟厚度有所差异, 生长指数1—1.5, 开始较大, 随时间推移而平衡接近。此阶段是由第二阶段过渡发展而来, 所以开始时由于下盘加积略大于上盘, 因此下盘仍有潜滑发生; 随着沉积物源的溯源远离, 上下盘的沉积差异也接近平衡, 下盘的潜滑逐渐停止。在平衡阶段, 断面的活动主要是由于上盘沉积物所承受的重力负荷作用所致, 并引起断裂面上延。因为破裂面延展方向是自下而上的, 所以本文称之为向上长入阶段。此阶段断面特征是以陡直而有别于下伏段, 地层断距也远小于潜滑段。图4所示中三叠世至早侏罗世晚期白碱滩断裂的活动及断面变陡、断距变小直至休眠, 正是上述机理的典型实例。

本文认为由第一阶段的上盘主动冲断推举→第二阶段的下盘潜滑→第三阶段的断面向上长入, 可看作冲断带生长活动的一次完整旋回; 对复杂的冲断带来说可能有多次旋回, 但保留其形迹的只可能是第一和第二阶段的重复, 因为复杂冲断带多已通天, 第三阶段的形迹在后一次旋回中已遭破坏。

三、冲断带的油气勘探问题

1955年在准噶尔盆地西北缘车-夏冲断带发现了克拉玛依油田, 1980年确认为冲断带含油之后, 于南起车排子、北至夏子街长约250km地段上, 全线展开纵深解剖, 探明原油储量倍增, 其成效数倍于美国落基山冲断带, 因之国内出现冲断带找油热。但即使在准噶尔盆地, 人们公认的与西北缘冲断带相类比的乌伦古断陷北缘相随的吐丝托依拉冲断带, 钻探结果却非人所愿。

冲断带找油难度大、风险高。在选择探区时应先易后难, 在逐步认识其石油地质基本规律后再向复杂带探索。下面就此领域的勘探, 立足于新疆的局部认识谈几点看法:

1. 无源之水不可求, 必须选择与可信地生油凹陷相依随的冲断带

罗志立在总结C型冲断带成油条件时认为“在冲断带形成的早期, 往往有较厚的海相—海陆过渡相沉积, 具良好的成油环境; 后期所成的前渊盆地, 又可在中、新生代形成良好的湖相成油环境。故冲断带处于‘早晚有利’和‘左右逢源’的非常有利位置上, 即一般所称的枢纽带上”^[1]。这对车-夏冲断带无疑是精辟的总结, 但并非所有的冲断带都是如此。与车-夏冲断带相依随的玛湖凹陷内可信地生油岩有上二叠统下乌尔禾组、下二叠统上部的风城组, 及潜在的目前尚未弄清楚的海相下中石炭统生油岩。对于那些无可信地生油凹陷相依随, 或者虽有但生油潜力不大的冲断带, 勘探难获成功, 因为冲断带的另一不利因素是散失, 生油量不大时极难富集成油藏。

2. 要选择那些早期冲断活动强、晚期变弱直至休眠的隐伏冲断带作为勘探领域

早期活动强造成的濒临生油凹陷的断阶带及斜坡区为低位能区, 无疑将成为油气运移指向及聚集场所。后期活动变弱直至休眠造就的隐伏冲断带极利保存油气而减少散失。这正是车-夏冲断带勘探成效远胜于落基山冲断带的基本原因, 也正是车-夏地区油藏多为高压、高饱和及多种原油性质、多种油藏类型的原因所在。

3. 因冲断带的演化不同而有多种油气藏聚集模式, 造成冲断带找油的复杂性及风险性

美国落基山冲断带发现的油藏几乎全为冲断席所掩覆的背斜油藏, 加拿大阿尔伯达的冲断带油藏也如此; 外喀尔巴阡山及鄂尔多斯贺兰山冲断带发现的油田则位于冲断带前缘背斜中。车-夏冲断带所发现的近200个油藏(按严格的油藏概念分类), 在不同地段, 由于断裂的冲断、潜滑、长入活动的强弱、早晚交替差异, 聚集形式显然有别。红山咀-百口泉段为断超模式(图5)。乌尔禾-夏子街段为褶超模式(图6), 这主要是由于此段后期运动强烈, 油气散失较多, 只有最优越的背斜圈闭才能保存之故。因之连同一冲断带找油也不能固守某一种模式。

4. 冲断带真正行之有效的勘探方法是在高精度的地震基础上采用摸石头过河 的 钻井部署

在落基山冲断带1974年发现盘维油田之前, 打过500口干井, 成本极高。车-夏地区较为顺利, 成本亦低, 主要是因为勘探是在已知油区内进行的, 是采用摸石头过河的稳妥对策, 只有在发现油田后才采用剖面法部署钻井, 因此风险小、成功率高、成本低。此经验可供新探区借鉴。

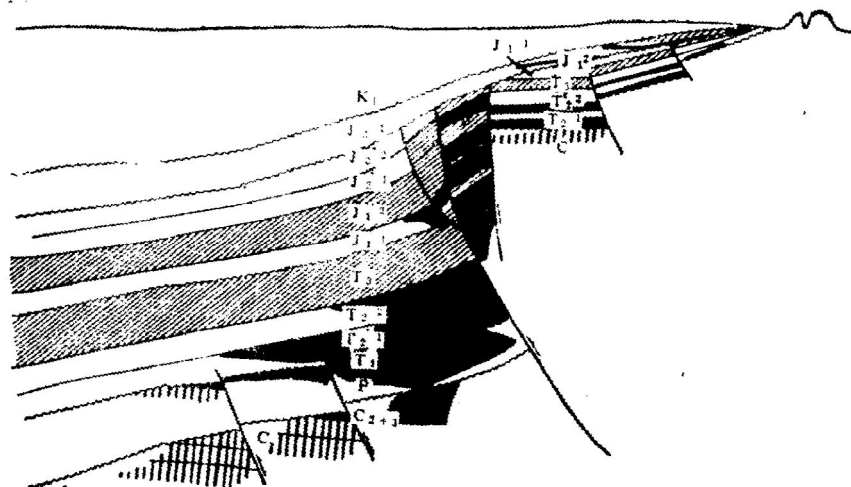


图5 红-百地区油藏模式图(断超型)

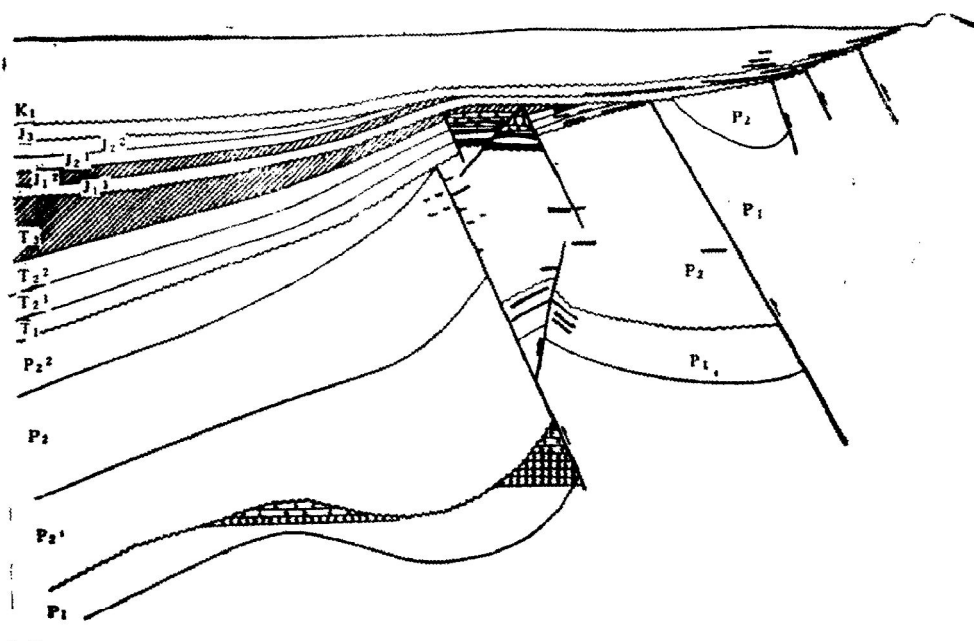


图6 乌-夏地区油气藏模式图(褶超型)

总之, 冲断带的油气勘探属极难对付的复杂问题, 在部署上不要太理想化, 套用某种自己选定的模式, 而要作具体分析, 根据本区地质构造特点和成油条件, 以高精度的地震勘探为基础, 采取循序渐进的勘探方式。

参 考 文 献

- [1] 罗志立, 1984, 石油与天然气地质, 第5卷, 第4期。
- [2] 吴庆福, 1985, 石油学报, 第6卷, 第3期。

A PRELIMINARY APPROACH ON GROWTH THRUST FAULT BELTS AND THEIR OIL AND GAS EXPLORATION

Wu Qingfu

(*Research Institute of Petroleum Exploration and
Development, Xinjiang Petroleum Administration*)

Abstract

The growth thrust fault belts discussed in this paper are referred to as the thrust belts that are situated between the fold mountains around the compressive basins and marginal depressions of inland basins and regional thrust belts within the basins as boundary of the secondary structural units in West China.

The evolution of this kind of thrust faults may be divided into 3 stages,

1. Early upthrusting stage with the upper wall as the active one; 2. Contemporaneous sliding stage with the bottom wall as the active one; 3. Upwards growing stage dominated by differential sedimentation. These stages can be taken as a complete evolution cycle of the faults, and complicated thrust belts may be resulted from multicycles.

Oil and gas exploration in the thrust belts needs a lot of money, and is full of risks. Only subterranean thrust belts which are associated with oil-generation depression or which intensely thrust at the early stage but weakened down at the late stage can be taken as exploration target.