

文章编号:1672-9854(2009)-01-0026-07

# 从地震看重力侧向滑动构造与油气

## ——兼论马西逆同生断层不是反转构造

王玉柱<sup>1,2</sup>, 杨克绳<sup>2</sup>

(1 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院)

(2 东方石油地球物理勘探公司研究院地质研究中心)



王玉柱

**摘要** 重力构造作用分为侧向运动和垂向运动两大类。以渤海湾盆地及准噶尔盆地中的构造为实例,介绍了重力侧向滑动的六种构造样式,包括滑动断阶、逆牵引背斜、地层补偿型背斜、滑落背斜、滑覆构造(逆同生断层)、推滑覆构造等。对其形成背景和形成机制逐一进行了分析,指明了这些构造的含油气潜力。这六种构造样式均可形成有利的油气圈闭,在勘探中应予以足够的重视。特别指出冀中坳陷马西逆同生断层不属于反转构造,而是由重力作用所产生的滑动推挤所致,为一典型的滑覆构造。

**关键词** 地震剖面; 构造模式; 构造特征; 重力滑动; 滑动构造; 油气潜力

**中图分类号**: TE111.2 **文献标识码**: A

**王玉柱** 1971年生,高级工程师,博士研究生。1994年毕业于中国地质大学(武汉)石油地质专业,一直从事地震资料解释及综合研究工作,现为中国地质大学(北京)地球科学与资源学院在读博士,构造地质学专业。通讯地址: 072751 河北省涿州市; 电话: (0312)3738170

重力构造作用由马杏垣院士首先提出<sup>①</sup>,他认为重力构造作用是指在重力影响下的岩石变形过程,分为侧向运动和垂向运动两大类。关于重力引起的垂向运动,杨克绳已进行过描述<sup>[1]</sup>,本文仅就重力侧向滑动形成的构造样式作进一步的描述。这种侧向运动形成的构造样式大体上有滑动断阶、逆牵引背斜、地层补偿型背斜、滑落背斜、滑覆构造(逆同生断层)、推滑覆构造等。

## 1 滑动断阶

一般分布在箕状断陷陡翼,由于边缘重力不稳定造成岩体沿边缘铲形正断层节节向下滑塌,滑塌体多夹持于破裂带内,呈现多个台阶带与箕状断陷边界铲形正断层平行展布,长数十千米。冀中坳陷霸县断陷西侧滑动断阶为一典型实例(图1)。其剖面特征是滑塌体沿一系列向上分叉、向下合并的铲形正断层向断凹一侧节节下掉滑移,形态上构成倒扫

帚状。滑动断阶面临生油断凹,油气沿断面向上运移或侧向运移,断阶带的断块圈闭捕获油气,形成油田。如南孟、龙虎庄、顾辛庄油田等均属于在滑动断阶上形成的圈闭捕获油气。

## 2 逆牵引背斜

逆牵引构造样式亦称滚动背斜,是一种与生长断层有关的褶皱。“逆牵引”是指地层向断面的“回倾”。生长断层呈犁状,地层在断面上滑动,即沿着1/4椭圆弯曲面上的正向断裂运动,使两盘发生垂向位移和水平位移,在上、下盘之间形成潜在空隙A(图2a)。为了弥合这个潜在空间,下降盘地层有两种变形方式:一是形成补偿性的滑动断阶B(图2b);二是发生弯曲,形成逆牵引构造C(图2c)。逆牵引构造与沉积同步发生,一般近邻生油区,而生长断层又可作为油气运移通道,所以它是一种极为有利的背斜储油圈闭。

收稿日期:2007-07-05

① 马杏垣. 论伸展构造. 石油部油气资源评价构造学习班讲稿, 1982.

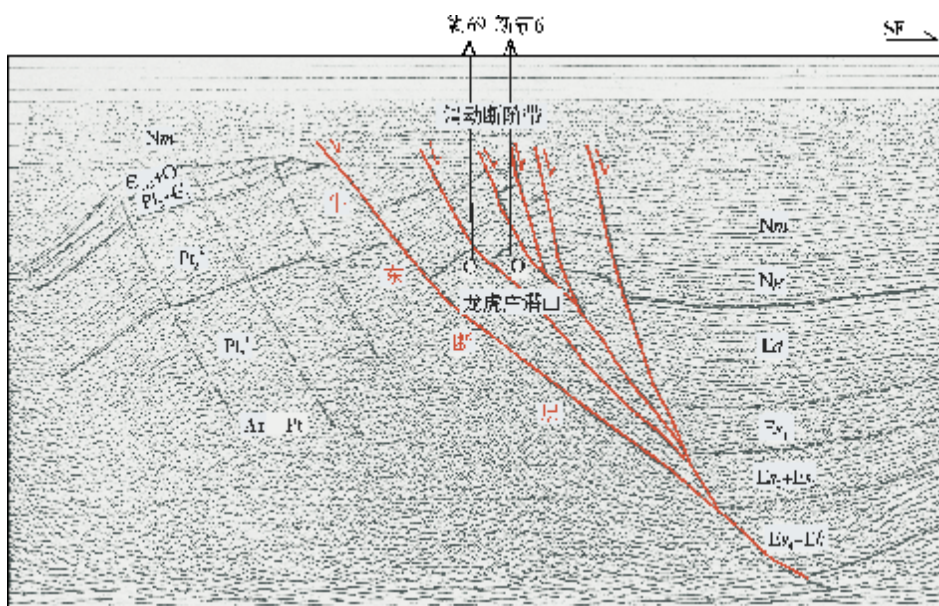


图1 冀中坳陷坝县断陷527地震剖面(解释:范雅琳)

Ek 孔店组; Es 沙河街组; Ed 东营组; Nm 明化镇组

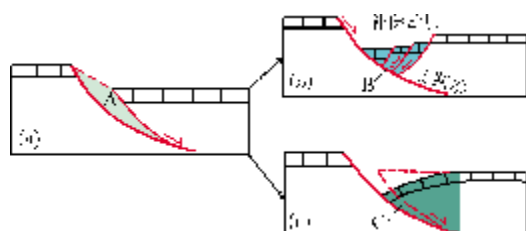


图2 拉伸断层空隙补偿模式

- (a) 断层受拉伸形成潜在空隙 A;  
 (b) 空隙补偿方式一: 在上盘形成滑动断阶 B;  
 (c) 空隙补偿方式二: 在上盘形成逆牵引构造 C

渤海湾盆地东营断陷胜坨构造为一典型的逆牵引构造实例(图3)。胜坨构造在渐新世早期尚为东营断陷的沉积中心和沉降中心, 到渐新世晚期, 在胜北断层的逆牵引作用下才形成背斜构造。此外, 沙河街组三段中一下部( $E_{s3}$ 中一下)欠压实泥岩的塑性流动也是该构造形成的一个重要条件。据对构造发育史的分析, 胜坨构造在新近纪前形成的圈闭幅度约占其现今构造幅度的一半(说明新近纪为挤压地质营力), 构造北翼至今仍靠胜北断层封堵。

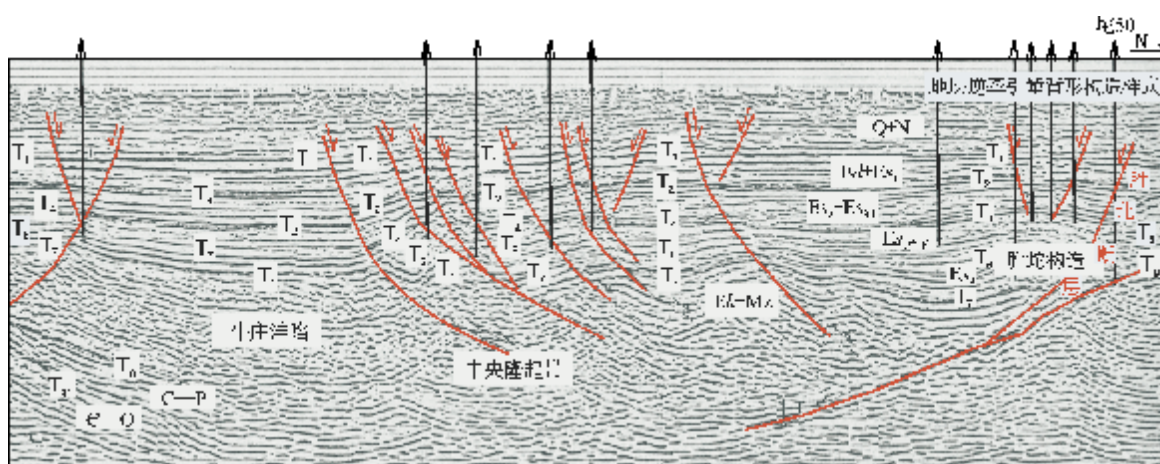


图3 渤海湾盆地东营断陷607.9地震剖面北段

Ek 孔店组; Es 沙河街组; Ed 东营组



胜坨油田是已发现的古近系—新近系油藏中储量最富集的一个大油田。含油面积 62 km<sup>2</sup>,有五套砂岩和砂砾岩含油气层:新近系明化镇组—馆陶组气层,古近系东营组,沙河街组一段、二段、三段油层。主力油层为沙二段,其储量占油田总储量的 80%。1964 年 6 月,坨 1 井、坨 7 井分别在地震勘探所发现的坨庄构造、胜利村构造上的沙二段地层中获得工业油流。1965 年元月,坨 9 井、坨 11 井射开沙二段全段油层分别获得千吨产能,是我国第一个单井日产千吨的砂层油田。1975—1980 年达高峰期,年产油 500×10<sup>4</sup>t 以上,1984 年产油量仍保持在 450×10<sup>4</sup>t 以上<sup>②</sup>。

### 3 地层补偿褶皱

地层补偿褶皱构造样式是前述滑动断阶(图

2b)的加剧变化形式。当控制补偿断层的主断裂受到急剧拉张时,下降盘向深凹陷下掉,与上升盘之间被拉开空隙,从而下降盘为填补空隙而发育形成由若干条断层组成的补偿断层,且它们本身构成褶皱构造样式。如图 4 所示,饶阳断陷东侧边界上的一组断裂 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub> 构成滑动断阶,在饶阳断陷接受沉积的同时发育了补偿主断裂 F<sub>5</sub>,在 F<sub>5</sub> 与 F<sub>4</sub> 之间还发育了四条补偿断裂,它们与主补偿断裂 F<sub>5</sub> 共同构成褶皱构造样式。从上述分析可见,饶阳断陷东侧在滑动断阶的构造样式中复合了一个褶皱构造样式,因此是个复合构造,由两个重力侧向滑动构造复合在一起。仔细分析还可发现,在这个复合构造之下,也就是在沙河街组(Es)层位上还复合了一个逆牵引背斜构造。

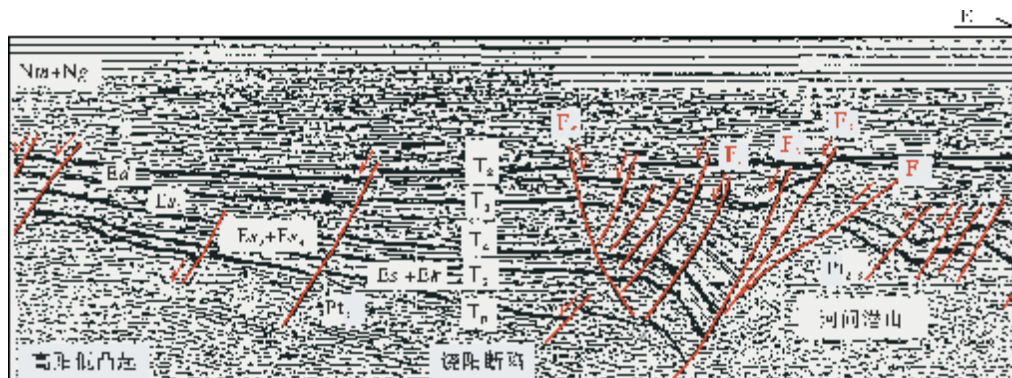


图 4 饶阳断陷高阳至河间地震反射剖面(解释:王雄兆,略有修改)

Ek 孔店组; Es 沙河街组; Ed 东营组; Nm 明化镇组; Ng 馆陶组

地层补偿褶皱构造样式含油特征是油藏受断层控制,油气多富集于断层与地层组成的屋脊状构造部位,含油条带非常狭窄。在冀中坳陷饶阳断陷的肃宁地层补偿褶皱构造样式中形成了肃宁东营组油藏(田)。

### 4 滑落背斜

在断陷盆地内充填较柔性的碎屑岩,沿两侧呈斜坡式的同生正断层向沉降中心滑动,造成“下挤、上张、顶陷落”的“卷心菜”式断裂背斜带。冀中坳陷廊固断陷琥珀营褶皱构造样式为一典型实例(图 5),该构造已为开发多年的老油气田。

滑落背斜可分为七种类型,即重力滑动型、塑性拱张型、基岩隆起型、沉积压实型、地层溶蚀垮塌型、

地层补偿型以及地层逆牵引型。实际上琥珀营褶皱式滑落背斜是重力滑动与塑性拱张两种机制在起作用。由于本文所讨论的是侧向滑动构造与油气,因此只论述侧向重力滑动作用,琥珀营构造是以大兴、西主两大断裂在断层斜面上滑动为主,形成滑落背斜。笔者在此忽略了对 Es<sub>4</sub>+Ek 塑性拱张作用的讨论。

### 5 滑覆构造(逆同生断层)

自 20 世纪 60 年代马杏垣院士在河南嵩山中—上元古界王佛山群中识别出滑覆构造<sup>①</sup>以来,重力滑动构造现象和概念已逐渐为我国地质工作者所接受并应用。重力为一种体力,它参与地球的构造运动过程,在塑造各类构造中起着重要的作用。

在断陷盆地中,只要具备形成重力滑动的地质

② 李德生. 渤海湾盆地复合油气田的开发前景. 1985 年 6 月在东京的讲稿:13-15.

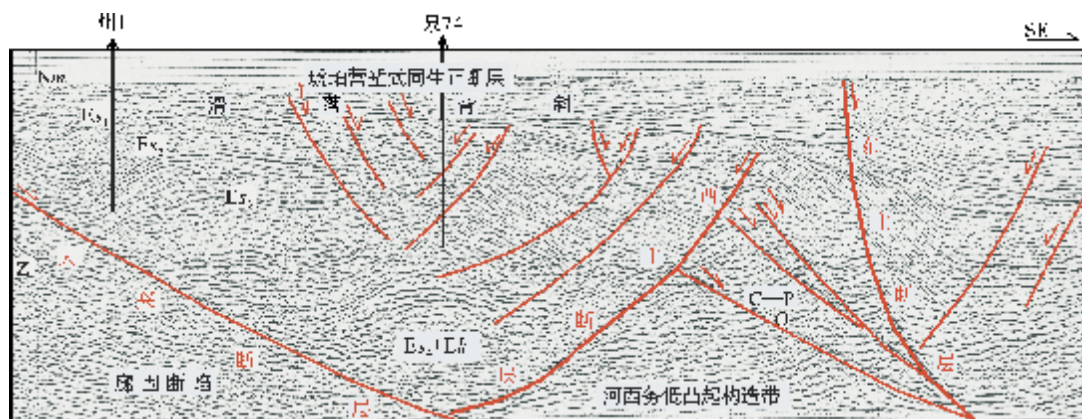
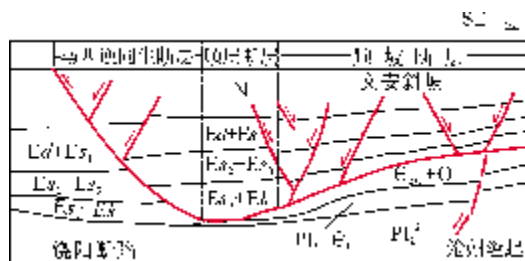


图5 冀中坳陷 LF203 地震解释剖面(解释:赵翠芬,有修改)

示琥珀营壑背形构造,包括琥珀营壑式同生正断层及其两侧范围,为一滑落背斜典型实例。

Ek 孔店组; Es 沙河街组; Nm 明化镇组

条件同样可形成滑覆构造样式。由于断槽边沉降、边沉积,断肩边抬升、边翘起,已成层半固结的沉积物在重力作用下整体顺坡边滑动、边沉积、边揉皱、边断裂、边逆冲,因而产生滑覆构造。在华北盆地比较典型的实例为冀中坳陷马西逆同生断层(滑覆构造)(图6),从图中清晰可见马西逆同生断层两盘地层的逆冲特征。马西滑覆构造处在文安斜坡与任丘古潜山(图6左侧)之间的深凹槽部位,自古近纪以来,沧州隆起(图6右侧)间歇性的翘起抬升,霸县和饶阳断陷振荡式的沉降,使已成层半固结的古近纪沉积物在重力作用下,沿文安斜坡向左呈周期性滑动。当遇到同时隆起的任丘古潜山所控制的次级斜坡(与文安斜坡倾向相反)时,文安斜坡沉积物的滑动势必受阻,致使坡脚处沉积物不断地被挤压变厚、叠覆褶皱。由于文安斜坡所产生的滑动力大于倾向相反的任丘古潜山所控制的次级斜坡所产生的滑动力,从而产生滑向任丘古潜山的逆冲断层,即马西逆同生断层。

图6 据冀中坳陷 WA82-007 测线解释的  
马西逆同生断层地震地质剖面

(据大港油田资料解释)

Ek 孔店组; Es 沙河街组; Ed 东营组

上述实例说明重力滑覆构造是沉积体在基底斜坡上滑动而形成和发展的,虽然在地震剖面上浅层向一个方向逆冲,呈上凸形状,但在深层其断裂是不生根的,与基底断裂无关。断面倾角上陡下缓、凹面朝上呈铲状,从浅层往深层垂直断距是逐渐加大的;当断面延至基底便转向而变为顺层断层;再延至基底斜坡,断层倾向与逆同生断层倾向相反,又逐渐变为顺坡(滑脱)断层,沿着基底斜坡伸展。

以上实际资料的分析结果与王同和关于“马西反转构造”的认识<sup>[2]</sup>是相悖的。反转构造是由于构造应力场的转变而改变了原有的构造面貌。这里的马西断层虽为挤压性质,但并不是由于构造应力场的转变所致,而是由重力作用所产生的滑动推覆所致,因此不属于反转构造,这是一个典型的滑覆构造。

滑覆构造或逆同生断层,它不仅在塑造地壳变形中起着重要的作用,而且也影响和控制油气的运移、聚集与储存。前已叙及,沉积物于断层生长过程中沉积,所以自始至终整个时期均可形成油气圈闭,只要生储盖条件具备,逆同生断层伴生构造圈闭较其他地质因素形成的圈闭优越。冀中坳陷马西逆同生断层除构造环境与沉积作用相互配合外,它还存在挤压驱动古近系生油岩内呈分散状的油气加速向断层附近的圈闭内运移、富集,形成具有工业价值的油气藏。如在断层下降盘形成的半背斜——任105井圈闭和在上升盘形成的牵引鼻状背斜——文31井牵引断鼻圈闭,都钻出了工业油流井<sup>[3]</sup>。

逆同生断层上、下盘因受挤压的程度不同,含油气能力亦相应有别,一般上冲盘多高于下降盘。如所述的两个圈闭,上冲盘高点处的文31井沙二段日产油18.9t,而下降盘高点处的任105井沙二段日产油11.17t。这是上冲盘受挤压力大于下降盘的有力佐证。

另外引人注目的是在逆同生断层晚期于上覆地层( $T_1$ 界面上下)中形成的浅层构造(图7),应是次生油气藏的良好场所,在勘探中应给予足够的重视。

在此有必要提出辽河盆地西部断陷冷家堡逆断层的属性问题。冷家堡逆断层是在我国东部含油气盆地中最早发现的逆冲断层,并且被钻井所证实(图8)。多年来有很多地质学家认为是在压扭地质力学环境中所形成的。通过地震反射剖面解释(图9)发现,它是在整个古近系箕状断陷内形成和发展的,向上消失在新近纪沉积岩中,与冀中坳陷文安斜坡马西逆同生断层可类比。

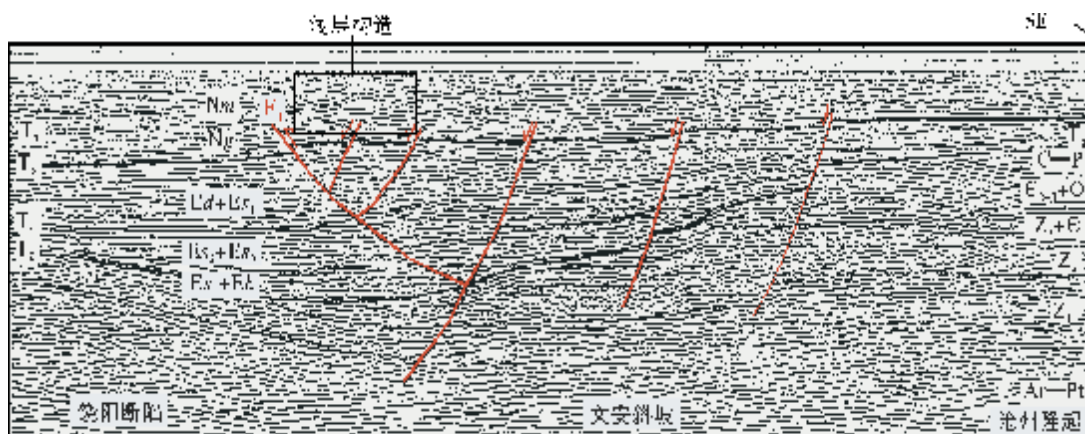


图7 冀中坳陷 WA82-004 地震解释剖面 (据大港油田资料, 解释, 杨克绳)

$F_1$  马西逆同生断层。Ek 孔店组; Es 沙河街组; Ed 东营组; Ng 馆陶组; Nm 明化镇组

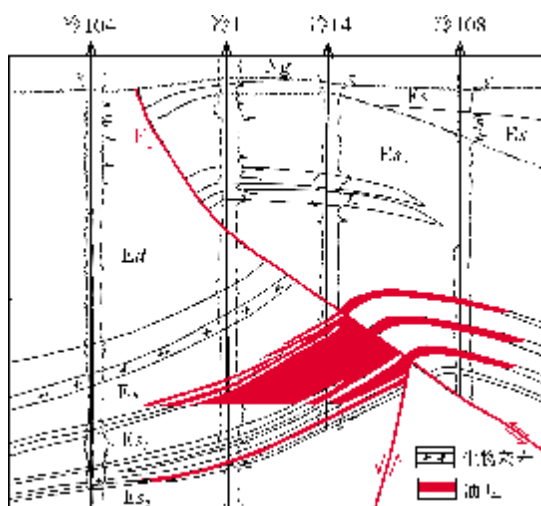


图8 辽河盆地冷家堡逆断层剖面 (据: 陈义贤, 1985)

$F_1$  冷家堡逆断层。

Es 沙河街组; Ed 东营组; Ng 馆陶组

马西逆同生断层从文安斜坡冲向任丘古潜山。冷家堡逆断层则是由大洼断层面冲向兴隆台潜山, 其形成的地质环境与马西逆同生断层是相似的, 所以可归属于逆同生断层的构造样式。

冷家堡逆同生断层最大断距达800m, 是马西逆同生断层500m最大垂直断距的1.6倍, 说明它的逆冲力大于马西逆同生断层。这是由于大洼断层面地震反射主剖面视倾角( $30^\circ \sim 40^\circ$ )大于文安斜坡地震反射主剖面坡度角( $10^\circ \sim 20^\circ$ )所致。

据实验得知, 基岩斜坡或断面倾角小于 $10^\circ$ 时, 无滑脱断层发生, 说明区域性滑脱面倾角约等于 $10^\circ$ 为滑动导生滑脱断层的临界角<sup>③</sup>。

冷家堡逆同生断层和马西逆同生断层对油气控制作用也是一样的, 上冲盘的产能高于下降盘。

## 6 推滑覆构造

推滑覆构造样式是先挤压推覆, 这必然使地貌

③ 杜劲霜, 易炽昌, 周则民, 等. 中国东部含油气盆地同生断裂类型及重力滑动断层形成机理. 石油部物探局地质研究院, 1983.



升高,地貌升高到一定程度,再由重力作用引发滑动而形成滑覆构造。它与前述滑覆构造的差别主要在于产生重力作用的原动力不同。前述滑覆构造的重力作用是由在斜坡上不断堆积的沉积物所产生的,这类构造一般形成于拉张盆地;而推滑覆构造的重力作用则是地质体受推覆抬升、重力势能逐渐

增加所引发的,这类构造一般形成于造山带前缘。推滑覆构造的典型实例位于准噶尔盆地北天山山前褶皱带(图10)。天山在晚燕山期、晚喜马拉雅期挤压逆冲,当北天山升高到一定高度,发生重力滑动作用而促使推滑覆断层最终形成。图中的 $F_1$ 、 $F_2$ 即为先推后滑所形成的推滑覆断层。

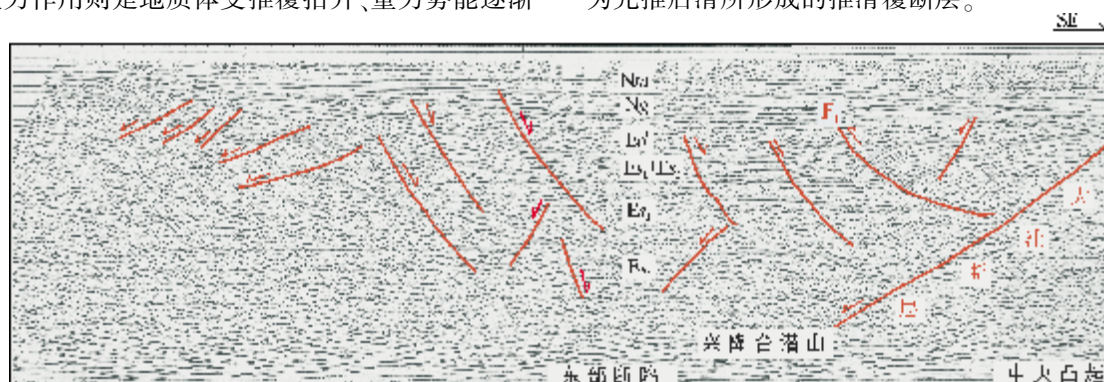


图9 辽河盆地SZ82-74.1地震剖面(据下辽河油田资料,解释:杨克绳)

$F_1$  冷家堡逆断层。Es 沙河街组; Ed 东营组; Ng 馆陶组; Nm 明化镇组

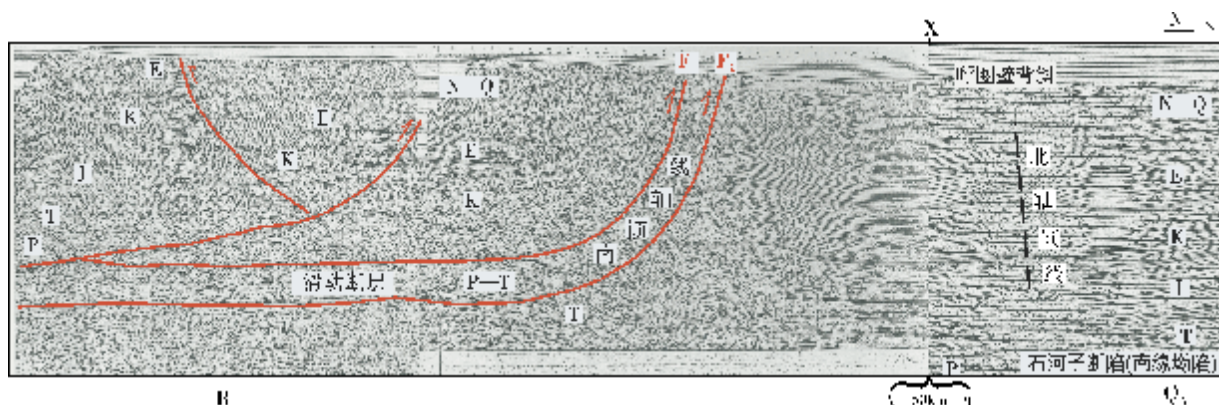


图10 准噶尔盆地北天山山前褶皱带推滑覆构造实例(资料来源于新疆石油管理局地调处,解释:杨克绳)

该剖面由两条测线拼接而成。以X点为界,左侧为剖面B,右侧为剖面QA,两剖面在东西方向上相距60km。

A表示背观察者(朝西)方向位移,T表示向观察者(朝东)方向位移。 $F_1$ 、 $F_2$ 为两条推滑覆断层

对西部含油气盆地,过去认为不可能有重力滑动作用,总把构造确定为挤压性质的构造样式。自从新疆石油管理局吴庆福高级工程师于1986年解释了准噶尔盆地天山山前第三排的“呼图壁”为重力滑动构造(图11)之后,这里认为西部含油气盆地同样存在重力滑动作用,吴庆福的解释是正确的。从实验得知,只要存在斜坡,坡度角适当就可以产生滑动构造。呼图壁背斜为一典型的滑覆构造实例,它位于准噶尔盆地中央(马桥凸起)隆起的南斜坡,自二叠纪开始上隆直至侏罗纪控制两侧的箕状断陷。到白垩纪盆地北部整体抬升,而呼图壁仍处在南倾的斜坡

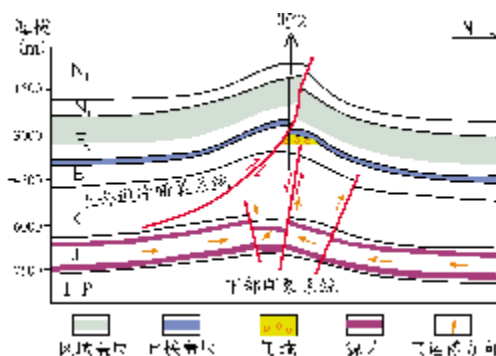


图11 准噶尔盆地呼图壁气田成藏模式<sup>[4]</sup>

呼图壁构造在山前的位置见图10

与天山山前南倾逆冲带的相接部位,与盆地山前挤压形成的背斜轴面南倾规律正好相反,“合理的解释应是斜坡上重力滑动的结果”<sup>[5]</sup>。

认识推滑覆这类构造样式实际意义很大,在设计探井时就不会陷入所谓山前构造一般规律的迷雾。后经钻探,呼图壁构造已成为准噶尔盆地主要的天然气气田之一,含气层系是古近系紫泥泉子组( $E_{1+2}$ )砂岩,面积 $15.2\text{ km}^2$ ,深度 $3\,575\sim 3\,614\text{ m}$ ,气层厚度 $23\text{ m}$ ,天然气储量 $126.1\times 10^8\text{ m}^3$ ,2000年底累积天然气产量 $5.78\times 10^8\text{ m}^3$ <sup>[6]</sup>。该气藏的成藏模式是,喜马拉雅期,断层断开紫泥泉子组至侏罗系八道湾组,沟通了侏罗系气源的通道,使中—下侏罗统生成的煤型气不断运移上来,沿断层至紫泥泉子组并在其中形成天然气藏——呼图壁气藏。

#### 参考文献

- [1] 杨克绳. 从地震信息看中国东部垂直构造样式及油气[J]. 海相油气地质, 2004, 9(1-2): 19-28.
- [2] 王同和, 王根海, 赵宗举. 中国含油气盆地的反转构造样式及其油气聚集[J]. 海相油气地质, 2001, 6(3): 27-37.
- [3] 杨克绳. 中国含油气盆地结构和构造样式地震解释[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [4] 张卫海, 查明, 曲江秀. 油气输导体系类型及配置关系[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(2): 118-120.
- [5] 吴庆福. 准噶尔盆地发育阶段构造单元划分及局部构造成因概论[J]. 新疆石油地质, 1986, 7(1): 29-37.
- [6] 李国玉, 吕鸣岗, 等. 中国含油气盆地图集[M]. 2版. 北京: 石油工业出版社, 2002: 235-236.

编辑: 吴厚松

### Seismic Profiles Show Lateral Gravitational Sliding Structures and Hydrocarbon Accumulation, and Account for the Maxi Contemporaneous Inverse Fault Instead of Reversion

Wang Yuzhu, Yang Kesheng

**Abstract:** Gravity sliding can be divided into two sorts, the lateral and the vertical. Instanced by the sliding structures developed in Bohaiwan and Junggar basins, six types of lateral gravitational sliding structures are introduced, which includes a sliding fault step, an inverse drag anticline, a stratigraphic compensating graben-like anticline, a slide-fall anticline, a sliding overthrust structure (i.e. inversed contemporaneous fault), and a sliding nappe. Their forming origin and mechanics are analyzed. All of these structures can be favorable hydrocarbon-bearing traps. It is suggested that a great attention should be paid to them in exploration. It is specially analyzed and indicated that the Maxi fault developed in Jizhong Depression is a typical sliding nappe, instead of a reversed fault, resulted from lateral compression of gravitational sliding movement. racrystalline pores and intracrystalline solution pores are common.

**Key words:** Seismic profile; Structural model; Gravity sliding structure; Lateral Sliding; Hydrocarbon accumulation; Bohaiwan Basin; Junggar Basin

**Wang Yuzhu:** male, senior geologist, Doctor degree in progress. Add: Geological Research Center, GRI, BGP, PetroChina Co., Zhuozhou, Hebei, 072751 China