

辽河坳陷西部斜坡带油气藏形成 条件与富集规律

张文昭

(石油工业部石油勘探司)

该区有10套工业油气层。主要有滚动背斜、古潜山、浊积砂体、稠油封闭、地层超覆和断块油气藏。其主要的成油有利地质条件是：先凹后斜的斜坡油源丰富；多源多期的大砂体与隆起相结合有利于油气富集；两类平行斜坡的正断层控制了油气藏的形成；区域性大面积的盖层发育有利于油气保存。

中国东部地区老第三纪断陷盆地广泛发育，斜坡地带面积很大，约占整个断陷面积的一半以上。辽河西斜坡的勘探实践证明，斜坡是油、气运移聚集的有利地区，可以形成各种类型的油气藏和较大面积的油气富集区。其单位面积储量大，是中国陆相断陷盆地中油气最富集的地区之一。本文试图以辽河西斜坡为例，对斜坡地带的油气藏形成和富集条件作一剖析。

一、西斜坡的地质特征和发育史

辽河西部凹陷是一个东断西超、东陡西缓的箕状断陷。凹陷东翼地层倾角 60—80 度，而西翼倾角仅 10 余度，构成了一个平缓的西部斜坡带（图1）。这个斜坡带的面积达千余平方公里，约占整个凹陷的一半以上，斜坡带地表被第四系广泛覆盖，经钻探揭露，其基础岩石有太古界花岗片麻岩，蓟县系和长城系的石英岩、硅质白云岩，侏罗系火山

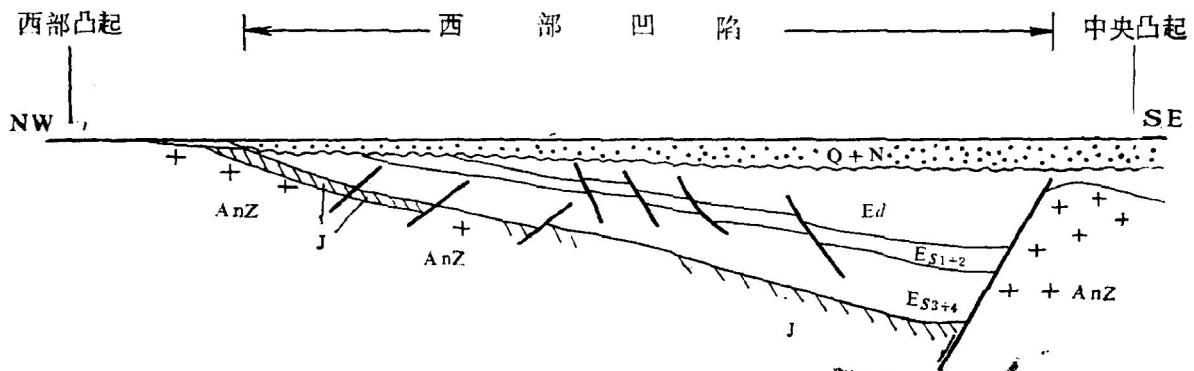


图1 辽河西部凹陷横剖面图

岩和含煤岩系,其上覆盖着一套较完整的第三系砂、泥岩(渐新一上新统)(图2)。斜坡从表面上看构造简单,是一个平缓的单斜,实质上其构造十分复杂,广泛发育有超覆、不整合、古地貌、古潜山、火成岩侵入体和火山岩流带、地层砂层尖灭带,各种类型的正断层、同生断层滚动背斜和不同类型的断块。在沉积上,下第三系有来自斜坡两侧不同类型的多源的扇三角洲砂体、浊积砂体和湖湾的鲕滩、生物滩相沉积。它们与广布而巨厚的黑色泥岩生油岩构成了良好的生储盖组合。各种类型的隐蔽油气藏广泛分布、多层连片叠置,形成了复式油气聚集带。

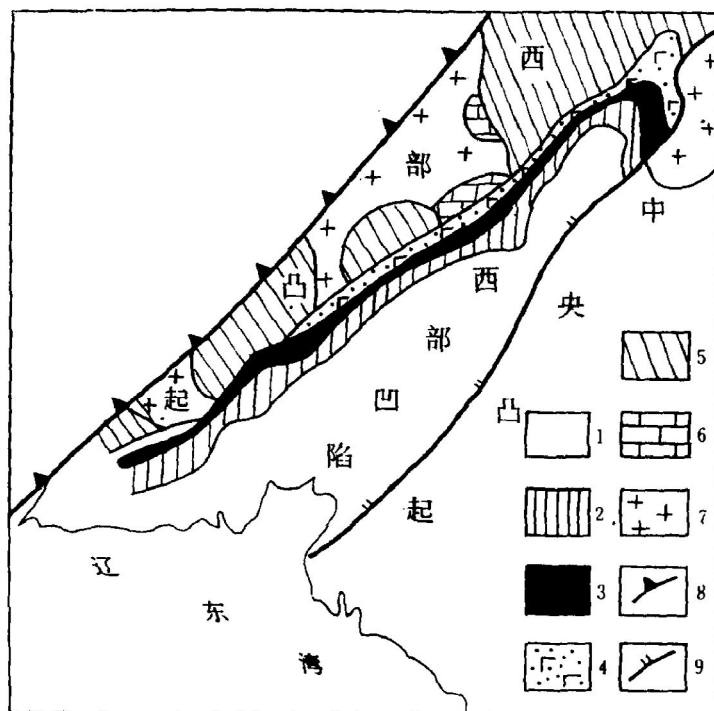


图2 辽河西部凹陷晚第三纪前地质略图

1—下第三系东营组, 2—沙1+2段, 3—沙3段, 4—沙4段, 5—侏罗系, 6—蓟县系和长城系, 7—前长城系, 8—上第三系缺失线, 9—基底断裂

西斜坡是现今的构造形态,实质上斜坡的地质发育历史非常复杂,它经历了不同的发育阶段,为形成不同类型的生储盖组合和油气藏奠定了有利的基础。在古生代前,本区位于中国地台的北缘,与华北一样,在太古界花岗片麻岩之上沉积了广泛而稳定的蓟县、长城系石英岩、硅质白云岩和页岩。从凹陷周边出露地层分析,在古生代本区是海相—海陆交互相沉积区,有寒武、奥陶系和石炭、二叠系,属华北相地层的沉积;可能在后期大部遭到剥蚀。海西运动地壳上升为陆,遭受侵蚀,缺失三叠纪的沉积。印支、燕山期本区存在较强烈的地壳运动,先是形成北北东向排列的凹凸相间的地堑、地垒式构造,在地堑中堆积了巨厚的侏罗系火山岩和含煤地层。侏罗纪末期地壳又一次褶皱隆起,伴随断裂和火山活动,不仅没有接受白垩纪的沉积,而且侏罗纪和古生代的地层均遭受较强烈的变动和剥蚀,形成了北北东向展布的复杂的古潜山地貌。早第三纪早期(沙4—沙3时)在本区发生了断陷,断裂方向仍为北北东,而断陷位置与侏罗纪不很一致。现时的西

斜坡是当时的凹陷部位,发育巨厚的黑色泥岩,构成了良好的油源条件。从沙河街三段沉积后期开始至东营期末,凹陷西翼逐步抬升才发育形成今日的西部斜坡带,并形成了各个时期的同生断层,断层倾向凹陷,成断阶状逐级向东降落,并伴生各期滚动背斜,自老至新有规律地自西向东排列;时代较新的东营组的同生断层和滚动背斜一般均邻近凹陷中心分布。随着西斜坡的抬升,湖岸线逐步东移,出现退覆沉积的特征,沉积相带也自老至新自西向东推移,构成了湖盆三角洲砂体的展布也向东延伸,形成了不同时期含油带自西向东展布的规律。由于西斜坡的抬升到东营期末达到了高峰,且局部露出水面,东营组及以下地层普遍遭受剥蚀,在地表水氧化作用下形成斜坡西缘的稠油封闭带。到晚第三纪,砂、泥岩地层水平地盖覆于下第三系之上,形成广泛的区域不整合,封闭了整个斜坡含油气区,形成了良好的保存条件。

由于西部斜坡良好的生储盖组合和有利的地质发展史,从下第三系直到基底,形成了十套工业油气层。由上至下为:

1.马圈子油层:位于下第三系东营组中部,是一套河流相薄层粉细砂岩与泥岩交互沉积,油层薄,含油气井段长;主要分布于兴隆台油田,在曙光、欢喜岭、双台子油田有零星分布,形成次生油气藏。

2.黄金带油层:位于下第三系沙1段上部,为薄层细砂岩。

3.于楼油层:位于下第三系沙1段中部,为薄层细砂岩。

4.兴隆台油层:位于下第三系沙1段下部和沙2段,是一套发育的河流三角洲砂体,由块状粗碎屑砂砾岩组成,分布广,是形成高产的主要油层。

5.热河台油层:位于下第三系沙3段顶部,多为浊积砂岩体。

6.大凌河油层:位于下第三系沙3段中部,为一套发育的浊积砂岩体,可以形成局部高产。

7.莲花油层:位于下第三系沙3段下部,为一个近源水下冲积扇,砂层粗而巨厚;主要分布在西斜坡北段,高升地区最为发育。

8.杜家台油层:位于下第三系沙4段上部,为河流三角洲相沉积;广布于西斜坡南段,曙光、欢喜岭地区最为发育。

9.火山岩油层:位于下第三系沙4段下部火山岩之中,或位于沙4段顶部侵蚀风化面。

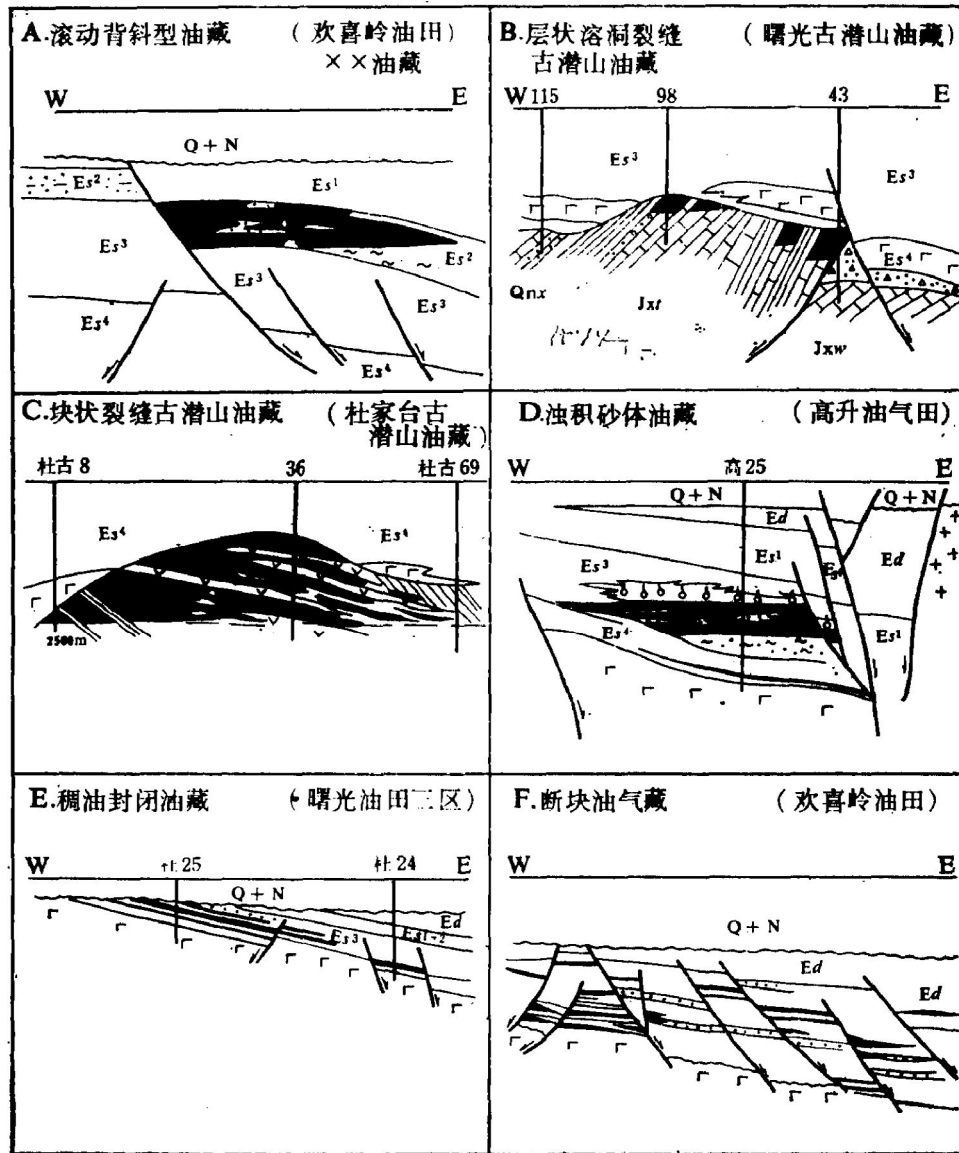
10.古潜山油层:位于斜坡基底,为蓟县系和长城系的硅质、砂质白云岩、石英岩,和太古界花岗片麻岩,以缝、洞、孔含油,构成高产油气藏。

二、西斜坡油气藏类型及其特征

西斜坡油气藏分布广泛而类型众多,构成斜坡带主要储量的油气藏有以下五种:

1.滚动背斜油气藏:是斜坡带发育过程中伴生的产物,在西斜坡抬升的背景上,伴随地壳的振荡运动,发育一套水退式为主的近源河流三角洲砂体。在斜坡带重力滑坡作用下,形成了平行斜坡走向的同生断层和滚动背斜,这种滚动背斜往往是下降盘地层急剧加厚,砂层发育,生长指数达到1.2—1.8,构成了小而肥的高产油气藏。滚动背斜轴自上至下向断面倾向方向偏移,断距向下逐渐变小而消失;油气藏有统一的油气界面和

油水界面。这种滚动背斜油藏分布在各个时期,以沙二段兴隆台油层最为发育;在西斜坡上从老到新、自西至东有规律地展布;油气藏大小不一,储量最大的可达4000万吨。这是西斜坡主力油气藏,约占斜坡总储量的50% (图3-A)。



□+ 花岗片麻岩 □ 火山岩 □✓ 火成岩侵入体

图3 辽河坳陷西斜坡带油气藏类型图

Q+N—第四系+上第三系, Ed—下第三系东营组, Es¹—下第三系沙河街组一段, Es²—下第三系沙河街组二段, Es³—下第三系沙河街组三段, Es⁴—下第三系沙河街组四段

2. 古潜山油气藏: 这是西斜坡分布广泛的隐蔽型油气藏, 由于构造复杂、类型多样, 地震勘探不易发现, 往往是钻探发现后, 结合地震、重磁力综合研究, 才对油藏特征逐步掌握。古潜山油藏的形成与下第三系油源密切相关, 由于西斜坡下第三系巨厚生油岩与盆地基岩层邻近, 是形成油藏的有力条件。生油岩与古潜山储层直接接触的部分

称为“供油窗口”,“窗口”愈大油源条件愈有利,实践证明几乎所有“供油窗口”面积内都见到油气显示。不整合面又是油气运移的通道,虽然有些古潜山顶部有较厚的非生油岩覆盖,只要在下倾方向通过断层形成“供油窗口”,就可以沿不整合面运移到古潜山高部位形成油气藏。其次,断面对古潜山油藏的形成也是重要的因素,它既可形成“供油窗口”,又可形成油藏的封堵面。西斜坡在沙三中期前,在斜坡上普遍发育一组西掉正断层,遮挡了油气运移的去向,对古潜山油气藏的形成起到十分重要的作用。此外,不整合面和断面上的坡积物、超覆带的疏松砂、砾岩层,在西斜坡普遍存在,既是油气运移的通道,又是良好的储层。古潜山油藏储集空间有洞、孔、缝三种,溶蚀孔洞是高产的主要类型,都发育在硅质白云岩中。曙光古潜山的曙古523井,在钻至蓟县系和长城系硅质白云岩时,放空9.77m,漏失泥浆、清水近5000m³,初产每日451t,压差仅一个大气压。

西斜坡古潜山油藏大体上分为两大类型:

(1)层状溶洞、裂缝油气藏:以曙光油田为代表,它的储集层是硅质白云岩,因与泥岩互层而形成内幕层状油藏。地层走向北北东,向西倾斜,倾角50°;油藏两侧由不渗透泥岩为隔层,东部有一条油源正断层与生油层相接触,上部由不整合面以上沙三段巨厚的黑色泥岩、火山岩所封堵,2km宽度的蓟县系和长城系的硅质白云岩在平面上被泥岩分隔为四个独立的条带状油藏,单个油藏宽度仅200—400m,油藏高度达300—400m。各油藏油水界面各异(自西至东分别为1630, 1850, 2000m,逐级下降),原油自东向西变重,说明油源来自东部生油凹陷。油藏储集层为硅质白云岩,洞、孔、缝发育,单井日产量均在100t以上,初产最高每日451t(图3-B)。

(2)块状裂缝型油气藏:在西部斜坡分布比较广泛,主要由石英岩、花岗片麻岩组成,油气藏储集体裂缝发育,与上部泥岩盖层接触处常见有风化壳、裂缝发育段,向下裂缝减少并逐渐消失,具有统一的含油底界,基本没有底水和边水。如杜家台古潜山含油底界一般在井深2500m左右,古潜山一侧或两侧常见有供油断层(图3-C)。

此外,在古潜山裂缝不发育的地区形成较为复杂的不规则裂缝油气藏。古潜山内部裂缝发育差异大,在平面上、纵向上含油无一定规律,以致形成多裂缝系统,单井日产量相差悬殊。

3. 浊积砂体地层油气藏:下辽河西斜坡在早第三纪沙三段生油层沉积时发育浊积砂体。莲花油层和大凌河、热河台油层都是这种类型的储集体。储集体的物质来自斜坡两侧,沿湖底峡谷成高密度流搬运,伸入深湖生油区之中,呈扇形、长条形,并被巨厚的黑色泥岩(生油岩)所包围,砂体堆积厚、变化大、颗粒粗而含砾,物性好。单层厚度最大的可达200余米,几乎没有泥岩夹层,砂体在数百米之外可以全部尖灭。这种浊积砂体的上倾尖灭带、砂岩顶部岩性厚度变化带和断层、构造相配合,经常形成浊积砂体油气藏。一个砂体形成一个独立的油气藏单元,具有明显的气顶和广阔的底水。在斜坡中部,由于埋藏较浅(1000—2000m),成熟度低,且受生物降解和底水氧化等作用,油质较稠。高升油气藏莲花油层是这种类型的代表,物源来自中央凸起北段,为自东向西插入深湖中的浊积扇砂体,最厚达280m,向西砂层尖灭,东部被断层封闭,在鼻状隆起的背景上形成了浊积大砂体油气藏(图3-D)。欢喜岭油田大凌河油层,有来自西部

自西向东插入深湖中的多源、多期的浊积砂体,在斜坡中部构成了众多的砂体地层油藏。这些浊积砂体油气藏储量大小不一,悬殊很大,是斜坡地区主要油藏类型之一。此外,曙光油田的西北缘杜家台油层区域上倾尖灭,也构成了区域性的砂体尖灭油气藏,一般油层薄、产量低。

4. 稠油封闭油藏和超覆油藏: 辽河西斜坡是先超后剥的斜坡,早期在下第三系沙四段断陷形成初期,由于地壳下沉,沙四段(油层)向西超覆;到沙三末期,斜坡带西缘逐步抬升,油层遭受剥蚀,由于受地表水氧化和生物降解作用,原油自东向西有规律变稠,在盆地边缘浅部形成了稠油封闭带。沙四段杜家台油层和沙二段兴隆台油层是三角洲沉积,砂岩层多而厚,连通性好,稠油藏都位于这两个层位。稠油层单层厚度可达数十米,层数达数十层,含油井段长达数百米,无气顶,无底水。由于断层发育,断裂的多期性,导致油气运移的多期性,形成稠稀交互以稠为主的特点。稠油带在平面上夹稀油块,在纵向上夹稀油层。从单层试油看出,稠油粘度相差近十倍,高的达 $4.0 \text{ pa}\cdot\text{s}$, 低的仅 $0.4 \text{ pa}\cdot\text{s}$ 。稠油油藏主要平行斜坡走向分布于斜坡边缘,一般埋深小于 1500m , 自北向南,从曙光油田至欢喜岭油田南段,南北延伸长达 40km , 储量在数亿吨以上(图3-E)。

在西斜坡边缘还存在超覆含油带。由于斜坡边缘古地形的差异,导致沙四时的超覆线是一条南北延伸的曲线,因后期斜坡的抬升,遭受剥蚀,在此形成不整合,有些仍保持原来超覆的特征。如高升地区(图4-A),整个西斜坡南段抬升作用较强,北段较弱,因而南段曙光三区以南以不整合稠油封闭为主,而北段则以砂层尖灭或超覆圈闭为主。

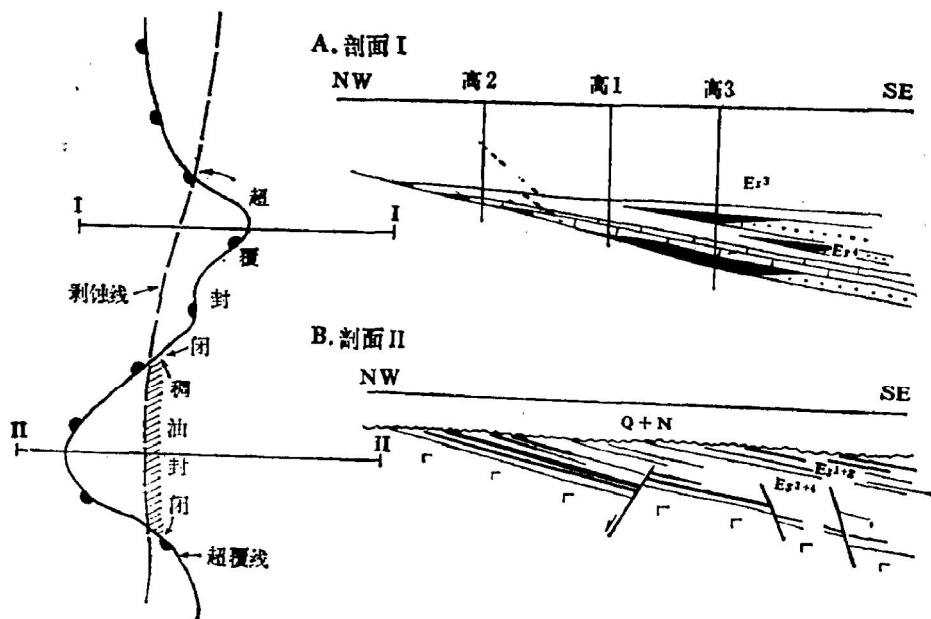


图4 辽河西斜坡边缘地层尖灭超覆油藏(A)和稠油封闭油藏(B)示意图

5. 断块油气藏: 西斜坡断层发育, 各种成因类型的油气藏在后期都程度不等地被改造成为断块油气藏。西斜坡各个时期主要发育有北北东、北西西和东西向三组断层, 这些断层纵横交叉, 把油层切割成大小不等、形态各异各类断块, 有垒式断块、屋脊状

断块、阶梯状断块、断鼻、断层夹持的交叉断块（墙角）等等。这些断块构成了独立的油气藏单元，一般面积在 $1-3\text{ km}^2$ ，很多是小于 1 km^2 。断块油藏在平面上是星罗棋布，纵向上多层叠置，是构成各油气聚集带叠合连片的基础。

除上述油气藏外，斜坡上还有各种岩性油藏、不整合古地貌油藏等。斜坡各处油气富集程度不一，在区域隆起带和正向构造背景上，单位面积储量大，形成油气富集区；每个油气富集区带都有其主力油藏与其它类型的油气藏搭配叠合连片，形成了斜坡复式油气聚集区。在西斜坡主要有四大油气聚集带，即欢喜岭、曙光、高升、双台子-双南油气聚集带（图5）。从整体上说，油气藏分布有其固有的模式：斜坡边缘以稠油、超覆、不整合油气藏为主，斜坡中部以古潜山油气藏为主，斜坡中、下部则以油积砂体和滚动背斜油气藏为主。

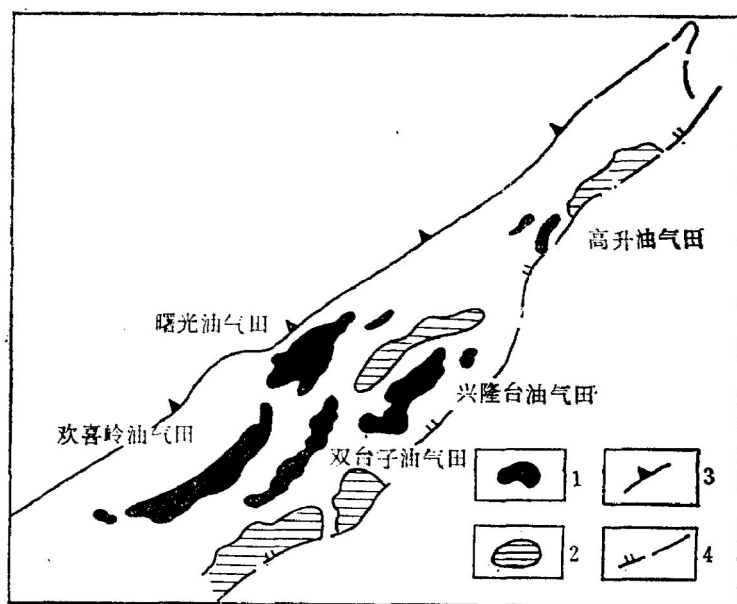


图5 辽河坳陷西部斜坡油气田分布图

1—油气田，2—生油凹陷中心，3—下第三系剥蚀线，4—大断裂

三、西斜坡油气富集条件

西斜坡之所以能形成较大面积的油气富集区，从其构造、沉积、生油特征和地质发展史分析，主要具备了四方面的有利条件：

1. 是一个先凹后斜的斜坡，油源丰富，又是油气运移的指向 今日的西斜坡在早第三纪初期（沙3—沙4时）是生油凹陷的一部分，沉积了巨厚的生油物质，到沙3末期斜坡开始抬升，湖盆岸线逐步东移，以至发展成为今日西缓东陡的箕状断陷；西坡倾角仅十几度，东坡倾角达 $70-80$ 度，凹陷最深部位偏于东侧，因此从本质上看，西斜坡范围几乎囊括了整个凹陷。斜坡平均宽度达十余公里，形成构造岩相带开阔完整，又是油气运移的主要指向，不仅有利油气侧向运移，油气纵向运移和重新分配也很活跃，油源充沛，灌满程度高。

2. 多源、多期的大砂体与隆起区相结合有利于油气富集 早第三纪时期, 西部凹陷湖盆窄, 岸线长, 两岸高山耸立, 与沉积区高差大, 剥蚀速度快, 有充足的物源。来自两侧的近源河流三角洲体、浊积体呈扇形、舌形伸入深湖之中, 形成了良好的生储盖组合, 在斜坡地带共发育四个大砂体。

(1) 齐家三角洲砂体。是沙3段下部杜家台油层沉积期形成的, 长30 km, 宽5—20 km, 发育有水下主河道、支河道和河口沙坝。砂岩最大厚度达150 m。这个三角洲砂体继承性发育至沙二段, 可向东南延伸到双台子地区。

(2) 欢喜岭三角洲砂体。与齐家三角洲砂体发育历史相似, 自杜家台油层沉积期形成, 继承性发育至沙二段; 三角洲砂体延伸很远, 自欢喜岭一直伸向欢南地区, 砂岩厚100—150 m。

(3) 兴隆台三角洲砂体。是沙2段兴隆台油层沉积期来自中央凸起的陡坡三角洲叶状体, 三角洲体覆盖了整个兴隆台油田, 长约26 km, 宽约10 km, 发育众多的支流河道和河口沙坝, 砂岩最大厚度达140 m。

(4) 高升浊积扇。是沙3段下部莲花油层沉积期的产物, 物源来自东侧的中央凸起, 扇体插入深湖之中, 为巨厚的砂砾岩。砾石成分以花岗岩为主, 缺乏夹层; 最大厚度280 m; 砂体已探明部分长约15 km, 宽2 km。

此外, 在沙3—沙4时还发育众多的浊积砂岩、鲕状灰岩, 都是有利的油气聚集体, 特别是齐家、欢喜岭二个在缓坡上发育的三角洲砂体。由于西斜坡的缓慢抬升, 湖岸线向东推移, 各期三角洲砂体, 继承性地自西而东退覆沉积, 使三角洲范围逐步扩大向东延伸, 形成了不同层位的有利的岩相带交叉展布, 叠置连片, 形成西斜坡含油连片的地质基础。

这四个大砂体与隆起区相配合形成了四大油气富集区。

3. 斜坡上发育着两类平行于斜坡的正断层, 控制了油气藏的形成 一类是早第三纪早期(沙3前)形成的西盘降落的正断层, 一类是中后期(沙3后)形成的东盘降落的正断层。这些断层垂直于油气运移的方向, 遮挡住油气向斜坡上方运移的去路, 在有利构造配合下, 形成了油气藏。早期西掉的断层, 控制古潜山油藏、沙4段高垒带和屋脊状断块油气藏的形成, 主要分布在斜坡中上段, 断层落差愈大形成油气藏富集程度愈高。而中后期形成东掉的同生断层, 大多数伴生有滚动背斜, 这些滚动背斜面向凹陷背靠断层, 发育期与成油期相一致, 有利于油气的运储且富集程度高。

4. 区域性大面积的盖层发育, 构成了斜坡油气区良好的保存条件 西斜坡断层先期发育而后期衰退, 断层均未断开上第三系; 而上第三系馆陶组和明化镇组稳定的砂泥岩沉积形成西斜坡区域性大面积的盖层, 所以油气纵向上运移虽然十分活跃, 但油气始终没有遭到散失。而斜坡西缘又有区域性的不整合、稠油、超覆封闭, 因而油气绝大部分储量均得以保存。

结 束 语

辽河西斜坡的油气储集规律说明, 斜坡带油气藏形成条件是复杂的。从构造、沉

积、生油等方面来深入研究一个斜坡带的地质发展史，对寻找斜坡油气藏十分重要。我国东部各大断陷，斜坡带外表面貌大体相似，但地质发展历史差别很大，要作具体分析。从辽河西斜坡勘探经验说明：

1. 先凹后斜的斜坡带是最有利的斜坡带，有利于油气富集。

2. 古潜山、滚动背斜、超覆带、不整合稠油带、近源三角洲、浊积扇，是斜坡带常见的油气藏类型。

3. 在坡上古潜山油藏勘探中特别要查明“供油窗口”的分布，“供油窗口”面积愈大油源条件愈好，只要是高于“供油窗口”的古潜山，都是有利的勘探场所。

4. 平行于斜坡的断层对区域性油气运移起遮挡作用，深入研究这类断层形态、产状和发育历史，对油气勘探十分重要。

参 考 文 献

[1] 童晓光, 1984, 石油学报, 第5卷, 第1期。

[2] 陈义贤, 1985, 石油学报, 第6卷, 第2期。

THE FORMATION CONDITION AND ACCUMULATION REGULARITY OF OIL AND GAS POOLS IN THE WEST SLOPE OF LIAOHE DEPRESSION

Zhang Wenzhao

(Petroleum Exploration Bureau, Ministry of Petroleum Industry)

Abstract

The exploration practice of the west slope of the Liaohe Depression has verified that a large area of hydrocarbon enrichment can be formed on the slope belt. There are several big oil and gas pools such as rolling anticline, buried hill, turbidite sandbody, thickened oil zone, overlap belt and fault blocks over there. There are four favourable conditions for hydrocarbon accumulation:

a. The slope that depressed first and then declined is rich in oil source and full filled.

b. Multi-source and multi-stage huge sandbody associated with uplift is favourable for hydrocarbon accumulation.

c. The formation of oil and gas pools is controlled by two kinds of normal faults that are parallel to the slope.

d. The extensively regional caprocks serve as a good preservation to oil and gas pools on the slope.