

任丘潜山油田的基本地质特征及其 形成的大地构造背景

陈国达

费宝生

(中国科学院长沙大地构造研究所) (华北石油勘探开发设计研究院)

一、本区现阶段的大地构造性质

任丘油田位于渤海湾盆地的冀中拗陷内。冀中拗陷地壳自太古代以来,在漫长的地质时期中,大体上经过了三个大的发展阶段。

1.前地槽及地槽发展阶段:在前震旦亚代(绝对年龄约36.7—17亿年),经过阜平、五台和中条运动,形成了本区的古老基底。据少数钻井资料,它为一套深变质的花岗片麻岩,与周边太行山等地对比,相当于太古代阜平群或桑干群。据其沉积建造特点,应属前优地槽发展阶段。其上可能缺失五台群、滹沱群,说明本区基底是一个很古老的隆起,即元古代时,它是华北古地槽区中的古地背斜。上述太古界中深变质地层虽然孔隙不发育,然而经过多期构造运动,裂缝发育,仍可作为油气储集的良好空间,曾在该层获得过油流。

2.地台发展阶段:从震旦亚代至古生代末期(绝对年龄约17—2.3亿年)。

本区当时处于相对稳定的沉降阶段,属于台陷斜坡带。震旦亚界以碳酸盐岩为主,中夹少量碎屑岩,厚约4400米,邻区蓟县地区最厚达8492米。呈北东东走向展布。这时,本区处于潮坪相,藻白云岩特别发育,仅高于庄组、雾迷山组即厚逾2000—5000米。震旦亚界末期的蓟县运动,华北古地台曾一度上升。

寒武、奥陶纪时,本区继续沉降,接受厚达1500米碳酸盐岩夹碎屑岩沉积。呈东西向展布。加里东运动使华北古地台再度上升直至早石炭世。但据中石炭统与中奥陶统的接触关系(假整合)看,显系以大面积振荡为标志的地台型地壳运动。

到中石炭世,本区又复下沉,至二叠纪,沉积了一套海陆交互相碎屑岩夹碳酸盐岩,厚约700—800米,呈东西向展布。

在整个地台发展时期,区内沉积了厚达5400米的碳酸盐岩,为尔后形成缝洞十分发育的古岩溶地貌奠定了物质基础。

这个阶段构造运动不剧烈,且以大面积升降运动为主,褶皱、断裂不发育,岩浆活动微弱。其间发生过六次较大的沉积间断,即震旦亚代的迁安、芹峪和蓟县运动,古生代的怀远、加里东和海西运动。由于多次升降运动,造成了多岩溶期的发育。

3.地洼发展阶段：从中生代以来（绝对年龄为2.3亿年——现代），本区地质发展进入一个新阶段。构造运动强烈，褶皱、断裂发育，地层不整合频繁出现，岩浆活动剧烈，大地热流增高。根据冀中坳陷周边露头和坳陷内大量的地震和钻井资料揭示，有五次明显的不整合接触：即中侏罗统与上侏罗统之间，侏罗系与白垩系之间，白垩系与第三系之间，始新统与渐新统之间，下第三系与上第三系之间。岩浆活动剧烈，在坳陷内，钻遇火山岩最大厚度可达1000米（如刘村构造的泽2井下第三系玄武岩）；大地热流值偏高，为1.5—1.9微卡/厘米²秒，平均为1.7微卡/厘米²秒^[1]。较地台区（0.6—1微卡/厘米²秒）高。地温梯度也偏高，一般为3.8°C/100米，个别地区可高达10°C/100米以上（如牛驼镇凸起）。根据地壳测深资料，坳陷内莫霍面上升，地壳厚度为35—36公里，而到坳陷西部太行山区增厚为41—43公里。这三者具有很好的一致性。这个阶段既建造了生油凹陷又造就了潜山和构造圈闭，为油气生成和聚集创造了有利条件。

从本区大地构造发育所经过的三个阶段来看，现今的大地构造性质，已经不是地台区所具有的特征了，而是与地台区性质相反，但与地槽区又有明显区别的新型活动区。我们仅从与石油地质有关的特征，加以对比（表1）。从而认为它是属于地洼区^[2]。

二、任丘潜山油田的基本地质特征

在地洼区的构造条件下所形成的油田，有它所独有的特征。

1.“新生古储”成油组合是潜山型油田的重要特征，地洼阶段新生界下第三系生的油运聚到地台构造层古生界或震旦亚界的储层中去，形成“新生古储”潜山油田。

（1）潜山的油源主要来自地洼沉积的下第三系

根据原油的性质、孢粉组合以及有机地球化学指标：正构烷烃、姥鲛烷/植烷比值、红外光谱、微量元素、甾烷、五环三萜烷等方面的资料，都说明潜山油藏的油源主要来自地洼构造层下第三系（表2）。

另外，潜山油藏的分布，明显地受地洼区发展的余动期老第三纪生油凹陷的控制，生油层与潜山接触就可能形成油藏；不然，潜山就形成不了油藏或仅见油气显示。这就充分说明了潜山油源主要来自地洼构造层的下第三系，但并不排斥潜山地层即地台构造层本身生油的可能性。

（2）下第三系生的油通过不整合面和断面向潜山运聚

在地洼阶段的地壳构造活动过程中，下第三系生的油在地应力的驱动下或巨大的差异压力作用下，通过地洼与地台两个构造层之间的不整合面和断面运移到地台构造层中缝洞十分发育的潜山碳酸盐岩储层中去。一般不整合面较断面的集油面积大。如任丘潜山带周围若以生油凹陷中心线为界，通过不整合面使下第三系生油层和砂层与潜山接触，供油面积为通过断层与潜山接触供油面积的9倍。沿不整合面运移有三种情况：一是生油区内，即生油层与潜山直接接触，如任丘；二是生油区内的低部位，即潜山低部位与生油层接触，如刘其营；三是生油区外，即潜山与生油层不直接接触，油是通过断面、不整合面运移到潜山中，如雄县（图1）。以第一种情况最好。沿断面运移也有三种情况：一是顺倾向断面供油，即生油层倾向与断面倾向一致，如河间；二是反倾向断面供油，

中国东部三类构造区与油气有关的特征比较表

表1

大地构造单元	地球物理特征	沉积特征	构造特征	油气分布特征
地 洼 区	大地热流值: 1.5—1.7微卡/厘米 ² ·秒 地温梯度: 3.5—4°C/100米	1.多为陆相(或偶有海水入侵)槽形盆地(断陷、断坳、坳陷)。 2.堆积速度0.13—0.15毫米/年。 3.岩性不稳定,变化大,为陆相类磨拉石建造。	初动期—激烈期:短带状褶皱、拱曲、逆断层发育; 余动期:短带状褶皱、正断层发育。	1.油气分布明显地受生油凹陷的控制,围绕生油凹陷呈环状或弧形分布;运移距离短,一般为几公里至20公里。 2.油藏类型多,以潜山断块油藏为主,“小而多”。
地 台 区	大地热流值: 0.6—1微卡/厘米 ² ·秒	1.多为海相(个别有陆相)广形盆地(坳陷为主)。 2.堆积速度为0.02—0.006毫米/年。 3.岩性稳定,常发育碳酸盐岩建造。	地壳运动较和缓,以大面积升降运动为主,多形成断续型褶皱;断层不发育,倾角陡。	1.生、储、盖层分布范围较大,控油岩系的岩性、岩相及厚度变化不大,易于对比。 2.控油构造简单(如穹隆、长垣、背斜等),常形成大型油藏。
地 槽 区	大地热流值很高或很低。	1.多为海相槽形盆地。 2.堆积速度较快,为0.03—0.06毫米/年 3.岩性变化较大,常发育有复理石、磨拉石建造。	线状紧闭型褶皱,逆断层及逆掩断层发育。	

即生油层倾向与断面倾向相反,如护驾池;三是生油层平行断面供油,即生油层与断面平行,如凤河营(图2)。其中以第一种运移条件最好。

2.高渗透的碳酸盐岩是潜山油藏的主要储集体。本区潜山油藏储集体,除了极少数为火山岩和花岗岩片麻岩外,绝大部分都是碳酸盐岩。如前所述,碳酸盐岩在本区分布十分普遍,主要层位有地台构造层中的震旦亚界和下古生界,其厚度达5400米以上。在钻井过程中普遍见到放空漏失,最大放空达6.46米(坝8井)。任丘油田钻遇雾迷山组的41口井中,有34口井有放空漏失现象,放空为0.2—2米。这是形成潜山油田高产原因之一。

初步分析碳酸盐岩储集空间可以划分为三大类:孔隙型、孔洞型和裂缝型。孔隙型中主要包括有晶间孔隙、粒(砾)间孔隙、壳(腔)内孔隙;孔洞型主要包括有晶洞、溶洞;裂缝型主要包括有构造缝、溶蚀缝、层理缝、压溶缝。这三种储集空间是相互联系的,常形成缝连洞,洞串孔,左右相连,上下勾通的连通体。但是,三者在油气的运

聚中起的作用不同。据余家仁等¹⁾统计岩心残余含油显示情况：任丘48井含油孔洞占91.7%，裂缝占8.3%；观4井含油孔洞占91.3%，裂缝占8.7%。可见孔洞是油气储集的主要空间，而裂缝是油气运移和渗透的主要通道。

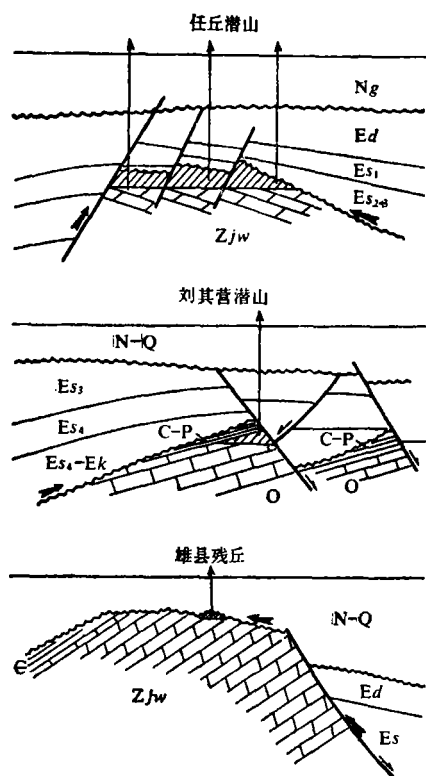


图1 不整合面运移模式图

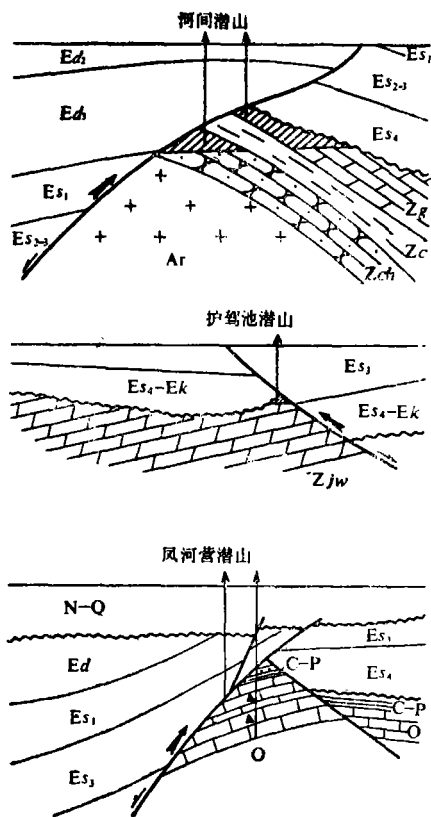


图2 断面运移模式图

缝洞孔的空间分布是成层成带的。根据放空漏失资料，纵向主要发育有两个带：一是靠古风化壳顶部约40米范围内，通常称做垂直淋滤带；二是水平溶蚀带，这一带的分布与当时岩溶期的潜水面密切相关。

缝洞孔的发育与岩性、层位、所处构造部位、地下水活动以及上覆地层有关。据资料分析，以白云岩和灰岩为主的震旦亚界雾迷山组和奥陶系缝洞孔十分发育；而夹泥质岩类较多的寒武系则发展较差。在同一个岩系中，泥质含量的影响也很明显。如奥陶系下马家沟组5号层，根据自然伽马曲线计算，泥质含量达6—20%，钻遇15口井，无放空、漏失现象；而在相对隔水层5号层之上的4号层泥质含量少，放空、漏失的井达47%，这也说明隔水层之上缝洞孔发展。

缝洞的发育与断层关系也很密切。如任丘油田放空、漏失的井沿断层分布；试采动态表现出的井间干扰，注水的水流方向，也都是与断层方向一致。

¹⁾余家仁等，1978，任丘油田雾迷山组储层特征。

另外，缝洞的发育与盖层孔渗性和厚度有关。如同属奥陶系潜山，龙虎庄为下第三系覆盖的潜山，比凤河营为石炭—二叠系覆盖的潜山放空、漏失的井数多两倍，渗透率大1000倍，产液量大10倍。

综上所述，碳酸盐岩储层较砂岩等其它储层，具有储层厚度大、含油高度大等特点。

3. 潜山含油三大部位：山头、山坡和山腹。

潜山作为一个储集体，由于其内部结构特点，形成特定的圈闭。往往在潜山的山头，形成风化体块状油藏或残丘油藏；在山坡上，由于潜山内部隔层和不整合面上的上覆层相交组成圈闭，常形成楔状油藏；在潜山内部隔层下部，由于断层一侧的泥质岩类与潜山内部隔层组成圈闭，形成隔层下面山腹块状油藏等（图4）。这些油藏在潜山带中分布在特定的部位，组成一个潜山油藏序列，形成以潜山油藏为主体的复式油气聚集带，掌握油藏这种分布特点后，可以有效地指导油气勘探。

三、任丘潜山油田形成的大地构造背景

1. 地台阶段处于负向单位（如台陷）的部位，发育着巨厚的碳酸盐岩；地洼余动期之前，以及余动期早期，处于正向的地穹部位，遭受剥蚀、淋滤，岩溶发育，为形成高渗透的储层创造了有利条件。

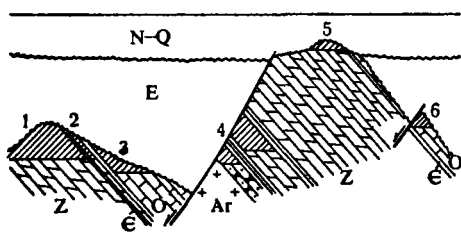


图3 潜山油藏类型示意图

1. 山头坡状油藏
2. 山坡层状油藏
3. 山坡楔状油藏
4. 山腹块状油藏
5. 残丘油藏
6. 山坡块状油藏

如前所述，本区在地台阶段相对稳定的环境中，沉积了巨厚的海相碳酸盐岩。尤其是震旦亚代本区处于湖坪相，发育了大量的藻白云岩，厚达2300米。这种地台型碳酸盐岩与地洼型不同，后者通常分布不稳定，层薄，单层厚约0.5—1米，具有粉粒—细粒的含团粒、团粒质及团粒结构；而前者一般质纯、性脆，含泥质少，一般泥质含量在13—8%以下，平均酸不溶物含量为10.7—19.3%，有利于缝、洞、孔发育。同时由于藻白云岩，藻骨架堆砌呈峰窝状生物孔隙或形成藻腔孔隙；又由于白云岩中白云石含量多大于50%，而白云石结晶骨架则可阻止压

实作用，增加孔隙性。这都是形成缝洞发育的碳酸盐岩储层的内因。

这些岩石又经过多期构造活动，产生过多期构造裂缝，发育着多期岩溶。后期的岩溶作用改造了前期的岩溶，尤其是喜山期岩溶作用对形成“任丘式”缝洞发育的储集体更起主导作用。在地洼发展阶段余动期前，处于地穹区，大部分地区抬升隆起，未接受中生界沉积，而遭受剥蚀，风化淋滤。如任丘油田从中生代至渐新世长达1.7亿年中，剥蚀厚度达3500米，致使顶部寒武—奥陶系剥蚀殆尽。任丘油田潜山碳酸盐岩岩溶垂向可分为三个水平岩溶带（有的带是水平岩溶带和垂直淋滤带相重叠），最低的岩溶带顶面距

沙一段底面为600米左右。这与沙二、三段地层超覆最底点到山顶的高度相吻合¹⁾，既说明了多期岩溶活动的存在，也说明了喜山期岩溶活动的主导作用。相反，石炭—二叠系或中生界覆盖的潜山缝洞不发育，储集体以裂缝型为主，其储集性能较“任丘型”差，变化大，如凤河营潜山等。

2. 地洼期的构造活动建造了生油凹陷，造就了潜山。

地洼区的发展过程，按照活动区的规律，它们依次是初动期、激烈期及余动期^[3]。区内三叠纪至早侏罗世属初动期，至中侏罗世发展到激烈期，白垩纪末期及新生代进入余动期。其活动强度从初动期到激烈期逐渐增大，地壳热流增高，密度减小，体积膨胀，地球自转速度加快，地壳运动加剧^[4]。同时受到区域构造应力场主压应力轴为北西向力的作用，形成北东向褶皱。进入余动期热流降低，密度增大，变为相对收缩为主，以张性正断层发育为特征，同时区域构造应力场主压应力轴向转为北东东向，有利于加速原有北东、北北东向的断陷的发展。地洼期这样一个发展过程与油气的生成、运移和聚集有着密切的关系。尤其是对任丘潜山油田的形成，具有十分优越的大地构造条件。

(1) 地洼余动期的断陷活动建造了生油凹陷

地洼余动期生油凹陷的形成是与地洼期构造活动息息相关，因此，它具有自己的分布规律和特点。

在激烈期时，由于北西主压应力的作用，形成了北东向的高阳、阜平等背斜构造，相应地产生两组雁行排列的北北东向北西西向共轭断裂。

当进入余动期后，随着热量的散失，地壳热流降低，密度增大，相对收缩，以垂直运动为主，同时受到北东东向主压应力的作用，由于区域应力场的改变，沿前期剪切断裂拉张，形成北北东和北西向断陷。在这个过程中，由于重力均衡作用，莫霍面上隆，并表现与凹陷呈镜象关系。

这种断陷盆地面积常达几千—几万平方公里，较长时间持续发育深水湖相沉积，藻类等生物繁盛，有机质丰富。加之，激烈期之后，地貌反差较大，堆积速度快，下第三系堆积速度为0.08—0.1毫米/年，为有机质的堆积和保存创造了有利条件。因此，建造了生油岩厚达1000—2000余米的有利生油凹陷。在地洼区发育过程中激烈期热流剧增，至余动期热流转降，地温梯度较高，为3.5—4°C/100米，最高可达10°C以上。这种较高的地温梯度对有机质向石油转化十分有利，这是本区气资源丰富原因之一。

地洼发展阶段中构造活动的差异，影响了生油凹陷的含油气丰度以及潜山的储集类型、缝洞发育的不同。现以冀中坳陷的廊坊—固安凹陷与饶阳凹陷作一比较，从表2中可以看出在地洼区内地壳活动的差异，既反映出不同类型的凹陷含油气丰度不同，还反映出潜山类型、储集特征和油气运移方式的不同。如廊坊—固安凹陷在地洼发展过程中属抬升型凹陷，由于遭受多次抬升剥蚀，使生油岩大部分未达到生油门限深度或使已达到门限深度的生油岩抬升到门限深度之上，使生油停滞，甚至由于抬升剥蚀，使生成的油气部分散失。而在地洼余动期活动较弱的继承型的凹陷，对油气的生成和保存有利，含油气丰度高。它单位体积聚集量比抬升型廊坊—固安凹陷大7倍，每口探井发现的储量高29倍。

1) 余家仁等1978，任丘油田雾迷山组储层特征。

地洼发展阶段构造活动差异对比表

表 2

项目		廊 坊 一 固 安 凹 陷	饶 阳 凹 陷
地 洼 期 构 造 活 动 特 征	激烈期	活动较弱, 隆起和剥蚀幅度不大, 潜山地层多为C—P、O	属地穹区, 活动较强, 隆起和剥蚀幅度大, 潜山地层多为震旦亚界雾迷山组。
	余 动 期	活动较强: 在下第三系有三个不整合, 即沙三段和沙四段之间的角度不整合; 沙三段与沙二段平行不整合; 上、下第三系之间角度不整合。	活动较弱。除上下第三系之间的角度不整合外, 其余两个仅在局部地区有表现。
	下第三系堆积速度	0.30毫米/年	0.18毫米/年
	凹 陷 类 型	抬升型。余动期早、中期(沙三段—孔店组)凹陷发育, 后期(沙二段—东营组)衰退, 抬升剥蚀。	继承型。下第三系各个时期都处于沉降阶段。
含 油 气 丰 度	生油母质类型	腐 植 型 为 主	腐 泥 型 为 主
	单位体积聚 集 量	1 个 单 位 量	7 个 单 位 量
	每口探井控制储量	1 个 单 位 量	29 个 单 位 量
储 集 特 征	类 型	裂 缝 型 为 主	缝、洞、孔复合型
	缝洞发育程度	不 大 发 育	十 分 发 育
油气运移方式		以生油区内不整合面低部位供油或平行断面供油为主, 集油面积小。	不整合面和断面供油, 集油面积大, 油源丰富。

(2) 地洼余动期断块活动造就了潜山

在地洼发展的激烈期, 褶皱活动强烈。本区一方面受到垂直构造应力的作用, 由于地幔物质上涌, 热能扩散, 地壳受热膨胀, 岩浆活动剧烈, 地温梯度增高; 另一方面又受到NW—SE向的压应力的作用, 形成了NE向的褶皱及伴生NE和NW向的断层; 同时还产生了NNE向和NNW向的共轭剪切断裂。当时冀中拗陷中部形成了高阳NE向背斜, 随之冀中拗陷主体部分隆起和边缘部分下陷。任丘—高阳一带上升剥蚀达3000余米, 而边缘部分堆积了厚约2000余米的侏罗—白垩系。这个古隆起被断层切割、改造形成了潜山发育区。

新生代发展到地洼活动的余动期, 由于前期大量的岩浆侵入和喷发, 热能散失, 地壳冷缩, 构造活动逐渐减弱, 以垂直运动为主, 以断块活动为特色, 并表现出张扭性质。同时, 构造应力场发生了改变, 主压应力场转为NEE向。沿前期 NNE 向剪切断裂面, 表现出明显的拉张作用, 如NE—NNE向的牛东断裂新生代拉开距离达7.6公里,

拉张速率达0.108毫米/年。同时从局部地区见到NNW—NW向的小型褶皱，如高家堡背斜、固安鼻状构造等。

前期NW—NWW向的切割古隆起的张性断层，在始新世时继续活动，形成了NW—NWW向的“古山梁”，如八里庄—任丘—雁翎、刘村—深泽等属之。这就是潜山形成的雏形。见到沙四—孔店组向“古山梁”上超覆，至渐新世时，由于NNE向的断裂活动加剧，切割了“古山梁”，使潜山沿NE—NNE向成群成带分布，并与NW向的断层相交切，形成潜山头。由于断块的差异活动，上升盘加剧上升，基岩进一步遭受风化剥蚀，使之岩溶发育，而下降盘大幅度沉陷，沉积了厚达8000余米的新生界。这就是潜山的形成和发育阶段。这样，既造就了潜山，也建造了生油凹陷，为潜山和潜山油藏的形成创造了良好的条件（图4）。

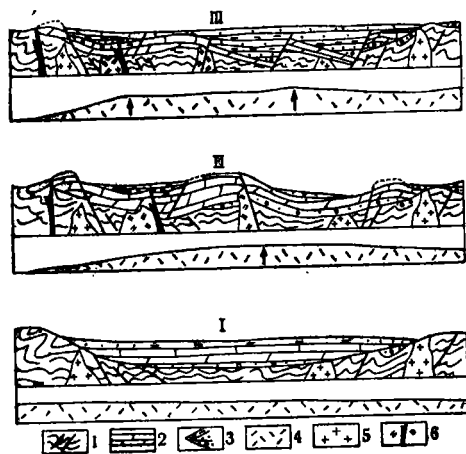


图4 潜山发育过程示意图

I、地台发展阶段：发育了碳酸盐岩。

II、地洼发展阶段初动期—激烈期：地幔物质涌升，地壳上拱，褶、断活动强烈，岩浆侵入和喷发显著，为潜山形成奠定了基础。

III、地洼发展阶段余动期：断块活动强烈，既造就了潜山，又建造了生油凹陷。因重力均衡作用，莫霍面上拱。

- | | |
|------------|------------|
| 1. 地槽构造层 | 2. 地台构造层 |
| 3. 地洼构造层 | 4. 地幔 |
| 5. 地槽型岩浆建造 | 6. 地洼型岩浆建造 |

（3）成矿递进性形成了复式油气聚集带

地洼区是地壳发展的第三构造单元，它经过了地槽、地台和地洼发展阶段，因此，它除了形成自己的矿藏外，还继承前期发展阶段所遗留下来的矿藏。所以出现越晚的构造单元，矿产和矿藏类型越丰富，便形成了“成矿的递进性”。尤其是作为流体的油气，更为活跃，后期地洼期生成的油气，在一定的条件下，还可以运聚到其它构造层中去，形成具有工业价值的油气藏。这样，使得地洼区油气藏极为丰富，不同的油气藏类型纵向上上下下叠置，横向上形成不同层位连片，造成了复式油气聚集带。如华北地区在

地洼构造层中第三系中找到了背斜、断块、岩性油藏,更重要的是在地台构造层中震旦亚界和下古生界碳酸盐岩中,找到了“新生古储”的潜山高产大油田。同时在地槽构造层前震旦亚界花岗岩片麻岩裂缝中也见到了油流。掌握了“成矿递进性”的成矿规律,可以启发找油的思路,开辟找油的新领域,注意寻找不同构造层的矿藏。特别是一个新区,要尽可能钻探较深的井,了解各构造层的含油气情况。如华北地区除找地洼构造层的第三系和中生界自生自储的油藏,在地台构造层找“新生古储”的潜山油藏外,还要注意在地洼期前所继承下来的地台期的碳酸盐岩的自生自储油藏。从现有资料来看:震旦亚界和下古生界具有一定的生油能力,而且在萤光显微镜下见到雾迷山组藻白云岩中的层纹藻、斑点藻发亮黄色萤光,以及在山区露头见到了油气显示,这就给我们提供找油的重要线索。

(收稿日期 1982年11月1日)

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地质研究所地热组, 地热研究论文集, 科学出版社, 1978年。
- [2] 陈国达, 地洼区—后地台阶段的一种新型活动区, 中国大地构造问题, 科学出版社, 1965年。
- [3] 陈国达、费宝生, 中国的地洼型油气田, 石油与天然气地质, 1986年第3期。
- [4] 陈国达等, 中国大地构造的一些特点, 国际交流地质学术论文集, 地质出版社, 1978年。

TYPICAL FEATURES AND GEOTECTONIC BACKGROUND OF THE FORMATION OF THE RENQIU BURIED-HILL OILFIELD

Chen Guoda

(Changsha Institute of Geotectonics, Academia Sinica)

Fei Baosheng

(Research Institute of North China for Petroleum
Exploration and Exploitation)

Abstract

The Renqiu buried-hill oilfield is one of the large and Prolific oilfields in China discovered in the middle of 1970s. This type of oilfields was formed in a specific geotectonic background, which have their distinctive characteristics, and is a kind of oil-formation assemblages of so-called "younger oil accumulated in older reservoirs", i.e. Cenozoic oil generated in geosag stage emplaced into older sub-Sinian and Paleozoic carbonate reservoirs formed in platform stage well developed with fractures and caverns. The pools have a variety of forms and are distributed regularly, resulting in the occurrence of multiple oil and gas accumulation zones.

This paper discusses emphatically the formation of the oilfield in light of the geotectonic background, which provides informations significant to the search of oil and gas.