

# 济阳坳陷孤北潜山地质构造 与油气富集规律

张日华 王立春

杜锡勤

(胜利油田地质调查指挥部研究所)

(四川石油管理局地调解释中心)

济阳坳陷东北部的孤北潜山,面积60 km<sup>2</sup>,有厚约1200 m的古生代碳酸盐岩沉积,已发现5条逆断层和两个倒转背斜,这些构造的形成与郯庐大断裂的左行剪压活动有关。背斜与潜山成正地形关系,其顶部张裂隙发育,经中奥陶至中石炭世风化剥蚀,孔、洞、缝发育,潜山被生油凹陷包围,油源丰富,油气通过断面和风化壳进入潜山,形成新生古储的次生油气藏。主力产层是奥陶系顶部风化壳,油气最富集部位是孤北潜山倒转背斜中部高带。

1985年,济阳坳陷在钻29井时首次发现了埕宁隆起东坡与孤北潜山之间有一条大型逆掩断层,之后孤北潜山地质构造便引起人们的极大关注。迄今在60 km<sup>2</sup>范围内,已发现5条逆断层和两个倒转背斜。这些逆断层和倒转背斜为本区的石油勘探开发提供了重要依据和新的研究课题。

本文根据该区50口钻井资料和大量的数字地震剖面,对潜山地层、内幕构造及其成因、油气的富集及其控制因素和有利含油气区段预测等问题,作一初步探讨。

## 一、地 层

孤北地区的地层与渤海湾广大地区相似。在前震旦系变质岩基础上沉积了寒武奥陶系海相碳酸盐岩建造;石炭二叠系海陆交互相碳酸盐岩及含煤碎屑岩建造;侏罗—第三系陆相碎屑岩建造。缺失震旦系、上奥陶—下石炭统及三叠系。沉积地层最大厚度为8000 m左右。其中古生界1300—1700 m,中生界1100—1200 m,新生界5000 m以上。

1. 前震旦系:为古老的变质岩系。

2. 寒武系:下统,为紫红色页岩夹灰色灰岩、白云岩、鲕状灰岩,厚约300 m,不整合于前震旦系之上;中统,为灰色鲕状灰岩,底部为灰绿色页岩、紫红色砂质页岩,厚度300 m;上统,为灰色灰岩、竹叶状灰岩、白云岩夹泥灰岩及灰质泥岩,厚160—240 m。

3. 奥陶系:下统,为灰白色中细晶白云岩,厚120—140 m,与寒武系为连续沉积;中统,为灰色灰岩、豹皮状灰岩,顶部为泥质白云岩、泥质灰岩,残余厚度60 m。

4. 石炭二叠系:为黑色页岩、煤层、灰色灰岩及石英岩,残余厚度约160 m。与下古生界为假整合接触。

5. 中、下侏罗统：为灰色砂岩、砾岩、泥岩夹煤层及碳质页岩，厚约600m，与下伏地层为不整合接触。

上侏罗统一新生界：略。

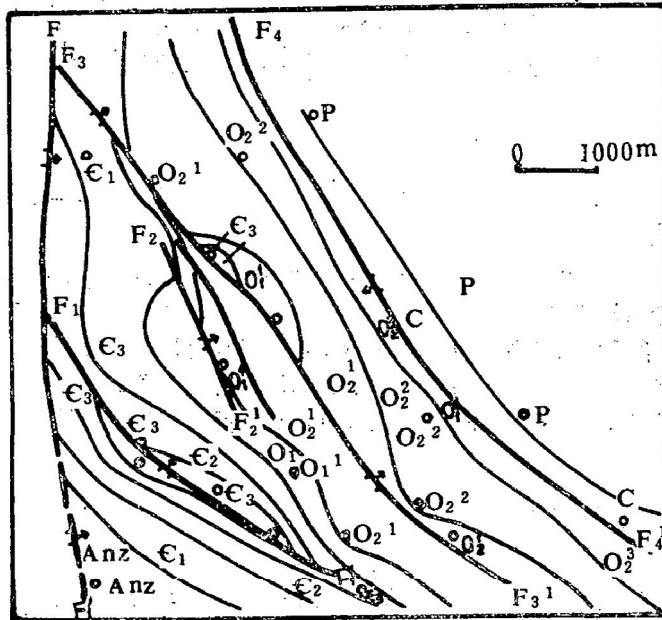


图1 孤北潜山前中生代地质图

古生界在孤北潜山大致自东至西地层由新至老呈条带状展布（图1）。

## 二、逆断层及倒转背斜构造

孤北潜山是埕北-孤北-五号桩-垦东潜山大型二级构造带的一个次级构造单元，走向北西，长约10 km，宽约6 km，面积60 km<sup>2</sup>，埋深3435—4400m。构造复杂，目前已发现逆断层5条，倒转背斜两个。

### 1. 逆断层

已发现的5条逆断层，自西向东分别为 $F-F'$ ， $F_1-F_1'$ ， $F_2-F_2'$ ， $F_3-F_3'$ 和 $F_4-F_4'$ （图2）。

$F-F'$ 逆断层：由29井于中寒武统和中生界之间钻穿该断层面（图3）。它所断开的层位下至前震旦系，上至中生界内部消失。为基底大断层。在地震剖面上，逆断点清楚，断面倾向东，倾角30—40°，逆掩1500—2700m。

该断层走向近南北，是纵贯全区的主干断层，也是孤北潜山西部的边界断层。整个孤北潜山就是该断层的上盘，是一个大规模的推覆体。其余4条逆断层和两个倒转背斜，对于该断层而言应为次一级的构造，它们均发育在此断层之上盘。

$F_3-F_3'$ 逆断层：由32，31，13，11，82-1等5口井钻遇（图4）。在地震剖面上，

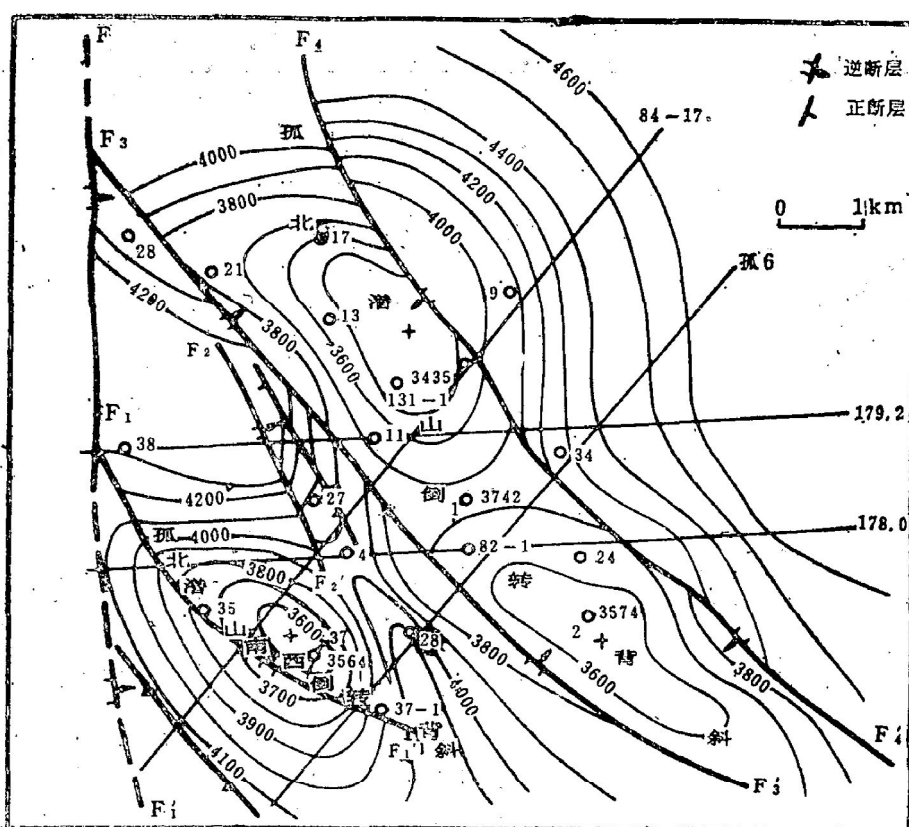


图2 孤北潜山中中生代古地貌图

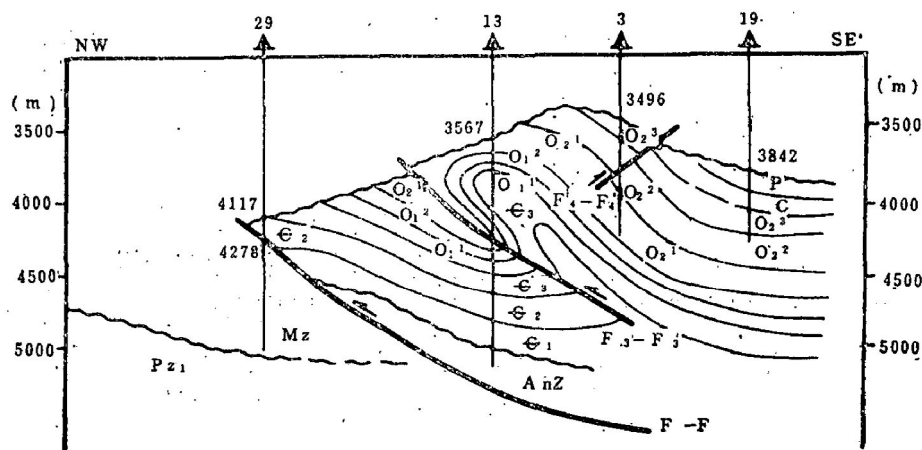


图3 孤北潜山29井—13井—19井钻井地质剖面图

逆断点清楚，倾向北东，纵贯全区。它发育在孤北潜山背斜的倒转翼，所断开的层位下至前震旦系，上至中生界内部消失。是孤北潜山中主要逆断层。

$F_4-F_4'$  逆断层：由17, 3, 10, 11, 6等5口井钻遇。在地震剖面上(图5)逆断点清楚，断面倾向西，走向北西，纵贯全区。发育在孤北潜山倒转背斜东北翼的斜坡地带(见

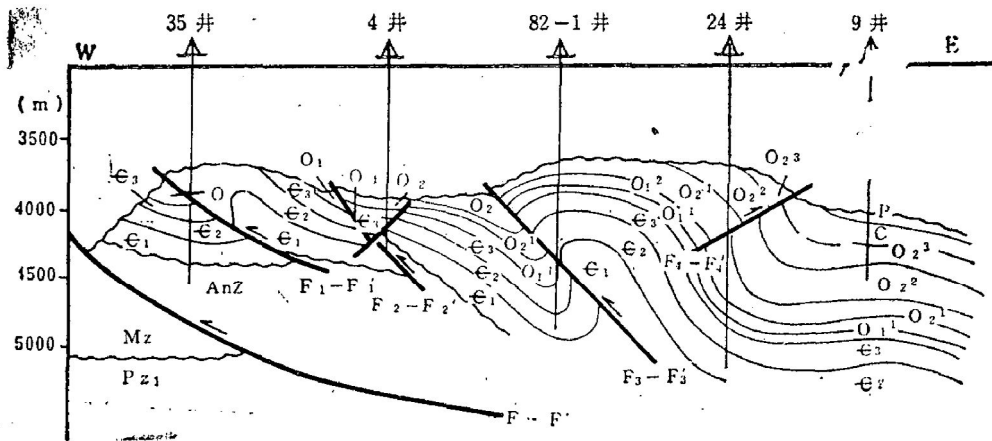


图4 孤北潜山178.0地震地质解释剖面

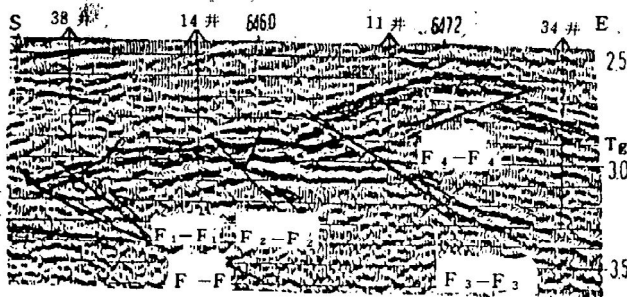


图5 179.2测线地震剖面

图2,3)。断开的层位上至中生界,向下在下古生界内部消失。

$F_3-F_3'$  和  $F_4-F_4'$  两断层平行,倾斜相向,二者相距 1.5—2km。

$F_1-F_1'$  逆断层: 由38,35,37,37-1等4口井分别钻遇。断层倾向北东,走向北西,发育在孤北南西背斜的倒转翼(见图4)。

$F_2-F_2'$  逆断层: 由39井在前震旦系和下寒武统之间钻穿该断层面,倾向北东,走向北西。

$F_1-F_1'$  和  $F_2-F_2'$  逆断层的延伸长度均小于 5 km; 它们所断开的层位都是下至前震旦系,上至中生界消失。此外,在博山樵岭溶洞附近地面,也可见到古生界逆断层的存在(在奥陶系灰岩中)。

## 2. 倒转背斜

在孤北潜山发现的两个倒转构造,它们和潜山成正地形关系(见图2)。

孤北潜山倒转背斜: 位于潜山中部。走向北西,轴面倾向北东,倾角30—40°,在本区延长10 km以上。构造东北翼上的  $F_4-F_4'$  逆断层和西南倒转翼的  $F_3-F_3'$  逆断层平行相向,把背斜中部推向最高处,形成了孤北古潜山中部高带的挤压背斜构造(图6)。目前已有13, 82-1, 3, 6等21口井打在该背斜的不同部位。82-1井钻经核部和倒转翼,见下古生界多次重复。13井(见图3)见马家沟组( $O_2^1$ )灰岩重复三次。

孤北潜山纵贯全区,是前中生代基底的中部高带,也是潜山的主体(见图2)。因剥蚀作用,形成南北两山头。北部13-1井山头埋深 3435 m,南部2井山头埋深 3574 m,两山之间的鞍部埋深 3742 m。

孤北潜山南西倒转背斜: 有38, 35, 37, 37-1等4口井揭露(图7, 图2)。走向北西,轴面倾向北东,倾角20—30°,延伸长度3 km,背斜高点埋深 3564 m。 $F_1-F_1'$  逆断层发育在该背斜的倒转翼。



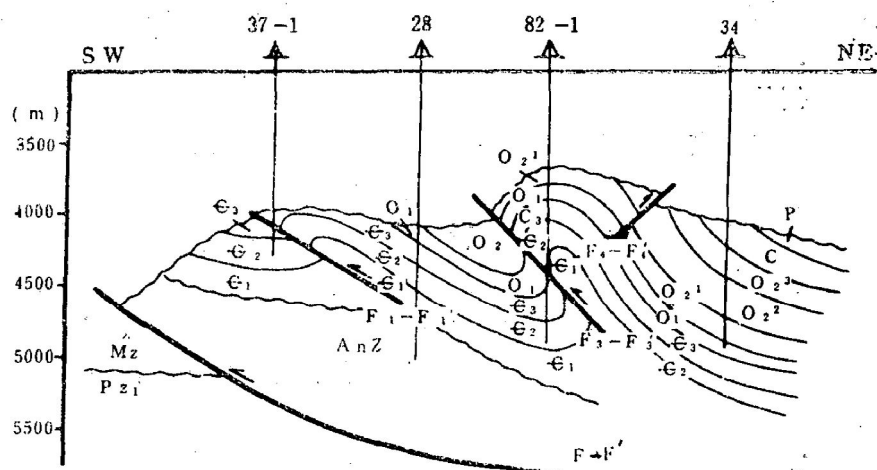


图6 孤北潜山桩6地震地质解释剖面

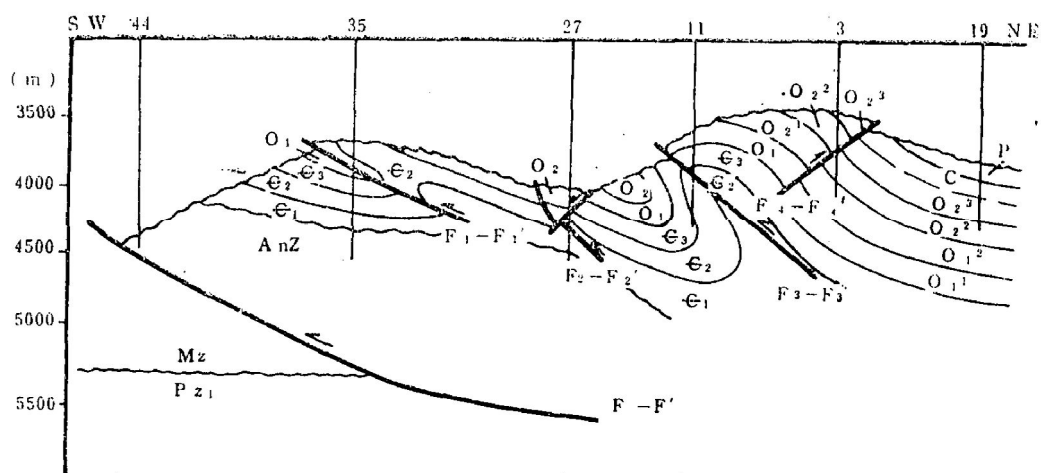


图7 孤北潜山84—17地震地质解释剖面

在孤北地区正南方200km处的博山,地面露头也发现下古生界的倒转背斜(图8)。经过对比,其地层时代、岩性等均与孤北潜山倒转背斜基本相同,说明为同期的产物。

### 3. 逆断层和倒转背斜产生的地质时代

在孤北潜山,中生界直接不整合于古生界不同层位之上(见图1)。迄今在中生界还未发现倒转背斜,说明在中生界沉积之前,二叠系沉积之后,有一次强烈的褶皱运动<sup>1)</sup>,故认为孤北潜山的逆断层和倒转背斜产生于印支期。但是,逆断层却具有长期活动的特点。如 $F-F'$ 逆断层,它产生于印支期,直至燕山运动早、中期仍然剧烈活动。由29井资料得知,该逆断层上盘的中寒武统,逆掩在下盘的中生界之上(见图3)。其它4条逆断层在燕山期也继续活动。在地震剖面上,  $T_g$ 波(古生界顶剥蚀

图8 博山地区  $\epsilon$ - $O$  露头倒转构造

1) 李德生, 1985, 渤海湾盆地复合油气藏的开发前景,

面反射)明显地逆掩在中生界之上。断层是否断至新生界,还有待研究,因为部分地震面在新生界中有逆断层显示。

#### 4. 逆断层和倒转背斜的成因探讨

郯庐断裂带是我国东部的巨型构造<sup>[2]</sup>,在山东部分称为沂沭断裂,走向北北东,将山东分为鲁东和鲁西隆起区两个构造单元。而孤北地区在沂沭断裂北段西侧,相距仅100km。孤北地区的西侧是埭宁隆起,后者是长期稳定的刚性地块。据胜利油田地质科学研究院任安身研究<sup>1)</sup>,沂沭断裂在不同地质历史时期的活动方式是转换的。在古生代至早、中侏罗世,为左行剪切挤压;在晚侏罗世至白垩纪末期,则为右行剪切拉张。孤北潜山逆断层和倒转背斜形成于印支期,是上述左行剪切挤压力的产物。当时沂沭断裂的西盘相对向南西位移。在孤北地区向南西运动的过程中,受到它西邻相对稳定的埭宁隆起的阻挡,在二者之间便产生近南北向的剪切主应力,同时还产生北东—南西向的挤压应力<sup>[1]</sup>(图9),因而形成了孤北潜山两个倒转背斜、潜山西边近南北向的 $F-F'$ 主干

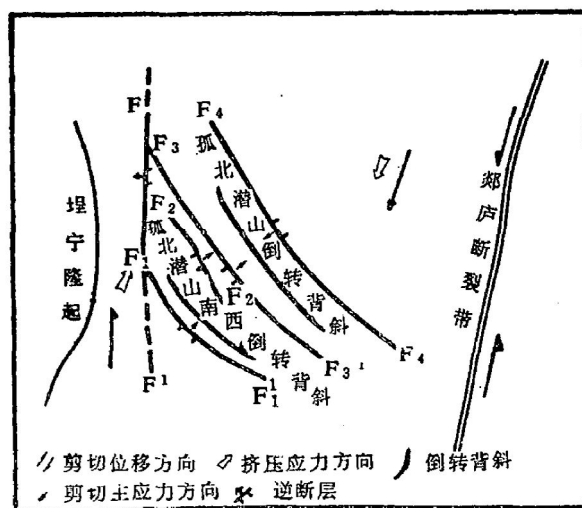


图9 古生代一早中侏罗世孤北地区应力分析平面示意图

逆断层及其4条北西向的次级逆断层。这些次级断层和主干断层在平面上呈“入”字型展布,在剖面上组合成叠瓦状构造。

$F-F'$ 主断层断面东倾,倾角平缓,与埭宁隆起东坡形态相吻合,不难看出,它的形成明显地受到了隆起的制约。该断层向西南仰冲逆掩1500—2700 m,水平错开10 km以上。

由于该区下古生界灰岩十分发育,尤其是中寒武统张夏组和中奥陶统马家沟组,多为厚层块状灰岩,具有较强的刚性,因此在孤北地区向南西运动并受到埭宁隆起遏制时,既有褶皱亦有断裂产生,使应力得以释放。

$F_4-F_4'$ 断层位于孤北潜山东斜坡孤北潜山倒转背斜东翼,其走向与其它逆断层基本一致,但倾向相反,断面较陡,它是在 $F_3-F_3'$ 断层上盘向南西推挤仰冲过程中形成的反向对偶断层。其形成时间略晚于孤北倒转背斜和 $F_3-F_3'$ 断层,但基本上应属同时期的产物。

1) 任安身, 1986, 济阳拗陷构造变动特征及其形成机制探讨,

逆断层活动延续时间较长, 在地震剖面上, 几条断层在下侏罗统都有不同程度的显示。特别是F—F'主干断层, 直至燕山期仍剧烈活动, 致使中寒武统逆掩在中侏罗统之上, 形成了孤北古潜山推覆体。

### 三、油气富集规律和找油方向

#### 1. 生油岩系

孤北潜山周围被成熟的生油凹陷所包围, 其南部是沾化凹陷, 东部是桩东凹陷, 西部是埕北凹陷。这些凹陷生油岩系都很发育。生油层主要是渐新统湖相暗色泥岩。有两套生油层系: 一套是沙三段; 另一套是沙一段—东营组下部。但以沙三段为主。在沾化凹陷, 该段生油岩厚达800m以上, 其中暗色泥岩厚逾600m; 有机碳含量非常丰富, 一般为1.45—2.74%, 属于弱还原—还原—强还原环境; 生油物质由类脂体、壳质体、镜质体、惰质体等组成; 干酪根类型主要为腐泥型(I型)和以腐泥质为主的混合型(II型)<sup>1)</sup>, 有利于石油生成。其余两个凹陷的沉积环境和生油指标均与沾化凹陷类似。所以说孤北地区生油潜力巨大, 石油资源量极为丰富。

#### 2. 储集空间类型

目前, 在孤北潜山披覆构造发现九套储集层系, 即震旦系、寒武奥陶系, 侏罗白垩系、沙四段、沙三段、沙二段、沙一段、东营组和馆陶组。主要有三种储集岩, 即前震旦系的花岗片麻岩、下古生界的碳酸盐岩、中新世界的碎屑岩。本文主要阐述寒武奥陶系碳酸盐岩的储集空间。据地震、录井、测井和岩心等资料综合分析, 孤北潜山碳酸盐岩储集层发育, 其中有两种储集空间占主导地位——风化壳和构造裂缝。

风化壳储集空间已被许多资料所证实。地震波速度谱在进山层位表现为低异常; 在钻井过程中多见泥浆漏失、钻具放空及测井的井径扩大等。这种现象大都出现在潜山顶面以下50m的范围内。如10井井深3624—3628m(进山51m), 钻具放空1.1m, 井径扩大井段长2m, 泥浆漏失1633m<sup>3</sup>。

众多的录井资料、实验鉴定资料以及15口井在潜山的不同深度都有泥浆大量漏失和钻具放空的事实, 证明存在裂缝储集空间。如15井在钻入潜山344m处泥浆漏失1646m<sup>3</sup>。24口井的裂缝识别测井资料均表明潜山的构造裂缝是很发育的<sup>2)</sup>, 尤以潜山顶部为最; 大体可分为北东、北西和近南北向的三组。

潜山主体部位即中部高带, 风化壳储集空间和构造裂缝储集空间同时并存, 特别是在孤北及孤北南西两个倒转背斜的顶部, 由于张力作用, 形成众多的张性裂隙。另外, 中奥陶世以后至中石炭世长达1.4亿年的沉积间断和风化剥蚀作用, 使该风化壳的孔、洞、缝显著增加, 从而为潜山的油气聚集提供了良好的空间。

#### 3. 奥陶系顶部风化壳是孤北潜山的主力产油层位

孤北潜山为大面积含油高产的典型。现在日产百吨以上的高产油井有20口, 其中日产千吨以上的油井有7口; 上述高产油井中, 有13口日产百吨和6口日产千吨的油井的产

1) 孤岛石油天然气勘探公司, 1983, 桩西一五号桩地区石油资源评价及勘探开发规划。

2) 张秉政, 1988, 桩西下古生界潜山碳酸盐岩储层研究。

层就是奥陶系顶部风化壳, 占高产油井的80%。可见奥陶系顶部风化壳, 是油气富集的最有利场所, 形成了孤北古潜山主力高产油层。

前震旦系顶部风化壳也是很重要的高产油层, 该层目前有两口日产百吨以上和一口日产千吨以上的高产油井。在上述两个风化壳之间的裂缝储集空间, 虽然也有油气聚集, 但和前者相比却处于次要位置。

#### 4. 孤北潜山中带高带是油气最富集部位

勘探工作证实, 孤北潜山披覆构造是一个结构复杂的、不同层系的、多种类型的复式大型油气藏。油藏类型主要有披覆、潜山、断块、断鼻、地层、岩性等类型和混合型。孤北下古生界潜山受 $F-F'$ 主干断层的控制, 其上盘发育着四条次一级断层和两个倒转背斜, 成为油气聚集的有利地带。沾化凹陷的沙三段生油岩与古潜山以大断层相接, 油气主要通过断面和风化壳进入潜山。盖层是下侏罗统煤系。形成了一套完整的生、储、盖组合。

该区油气藏发现于1977年, 到目前已钻出日产千吨以上的7口油井中的5口、日产百吨以上的13口油井中的7口都分布在中部高带。由此可见, 构造裂隙的发育及其对风化作用的促进, 无疑对油气的富集起着重要的控制作用。西部的多数探井虽然也见到了油层或工业油流, 但高产油井却很少。

#### 5. 本区今后找油方向

根据初步分析, 油气富集区除潜山中带高带外, 至少还有四个极为重要的领域。

##### (1) 潜山东部斜坡带 ( $F_4-F_4'$ 断层以东)

该区大面积的奥陶系顶部风化壳, 储集空间发育, 又靠近桩东生油深凹陷, 油源充足, 上覆石炭系的黑色页岩为盖层, 组成了完好的生储盖组合, 故有很好的勘探前景。据目前试油的三口探井, 于风化壳中均见到了高产工业油流, 初步展现出这个斜坡的含油潜力, 应是下一步的钻探重点。

##### (2) 前震旦系顶部风化壳

孤北潜山本身是一个推覆体, 东部斜坡45井钻遇的前震旦系顶部风化壳埋深5459m, 至西部38井的埋深4476m, 在5km的范围内即抬升983m。造成了该风化壳与沾化凹陷新生界生油岩以断层相接触的近油源条件。目前在逆断层 $F_2-F_2'$ 上盘的27井和 $F_3-F_3'$ 断层上盘的10-3井、25井, 都在该风化壳中获得了高产工业油流, 其中25井日产千吨以上。可见, 前震旦系顶部风化壳也是本区今后石油勘探的重要领域。

##### (3) 孤北南西倒转背斜

位于孤北潜山推覆体前缘, 受剥蚀严重, 主要为寒武系分布, 储集性能较奥陶系稍次, 但背斜的中部和东北斜坡地带, 也应有裂缝储集空间和风化壳储集空间发育; 又因临近油源大断层, 具有很好的油气聚集条件, 对此, 今后勘探也不可忽视。

##### (4) 潜山纵深部位

储层物性随深度增加而变坏, 这是人们对深层勘探的一个疑虑。但在孤北潜山, 因逆断层和倒转背斜分布, 造成同一目的层在纵向多次重复出现, 增加了目的层的厚度和勘探成功的机遇。如13井在4250—4485m井段, 即进入潜山683—921m处, 于倒转部位的奥陶系( $O_2^2-O_1^2$ , 见图3)中获得了高产工业油流和深层气。由此认识到, 深部储层物性(原生孔隙)虽然差些, 但由于存在构造缝隙和次生孔隙, 仍有获得高产油气流的可能。

另外，已完井的油层都有不同程度的污染，现在的试油结果，多数井不能反映油层实际情况，如对那些已钻入奥陶系顶部风化壳而未试油的井或低产油井，采用大型酸化压裂措施，亦可望获得更多的原油产量。

本项研究工作是在高级工程师芦春喜所长指导下进行的。参加工作的还有王超明、周素珍、刘希林等同志。在本文编写过程中，又得到高级工程师赵效奇和工程师刘富贵的帮助。插图由崔贤芝、李永奎清绘。在此一并致谢。

### 参 考 文 献

[1] 张文佑等, 1985, 构造物理模拟实验图册, 科学出版社。

[2] 方仲景等, 1980, 华北断块区东南部及邻区断块构造特征的初步探讨。华北断块区的形成与发展, 科学出版社。

## GEOLOGICAL STRUCTURES AND HYDROCARBON ENRICHMENT REGULARITY OF GUBEI BURIED HILL IN JIYANG DEPRESSION

Zhang Rihua Wang Lichun

(*Geological Survey Headquarters, Shengli Oilfield*)

Du Xiqin

(*Seismic Data Interpretation Centre,  
Sichuan Petroleum Administration*)

### Abstract

Gubei buried hill, with an area of 60km<sup>2</sup> and 1200m thick Paleozoic carbonite sediments, is situated in the northeast seashore of the Jiyang Depression. 5 reverse faults and 2 overturned anticlines have been found here.

The formation of the reverse faults and the overtured anticlines were related to the sinistral shear-compression of the Tanlu huge fracture and the obstruction of Chengning uplift. A lot of fissures developed on the top of the anticlines due to tensile stress. After long time weathering and erosion from the Middle Ordovician to Middle Carboniferous, pores, caves and crevices developed in the weathered crust of Ordovician, thus providing favourable space for hydrocarbon enrichment.

Surrounding by source sags, the buried hill has developed into secondary oil pools with young source beds and old reservoiring beds. Major productive bed is the weathering crust of the upper part of the Ordovician System, but the most rich positions are higher levels in the central part of the overturned anticlines.