

渤海湾盆地济阳坳陷潜山油藏 分布规律及控制因素

首皓¹, 黄石岩²

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

2. 中国石油化工有限公司, 北京 100029)

摘要: 济阳坳陷潜山油藏类型复杂, 构造裂缝是油藏的主要储集空间。济阳坳陷潜山储层的分布主要受控于盆地的形成过程, 构造运动是控制潜山分布的最主要的因素。潜山储层非均质性强, 且不同潜山的储层性质存在较大差异。济阳坳陷潜山油藏的开发特征复杂, 稳产阶段短、产能差异大、含水上升快。中生代及以前形成的古地貌早隆潜山是济阳坳陷最有利的潜山油藏勘探目标。

关键词: 渤海湾盆地; 济阳坳陷; 潜山; 油藏; 控制因素; 分布规律; 碳酸盐岩

中图分类号: P618.130.2

文献标识码: A

随着油气资源的越来越紧张, 勘探程度越来越深, 为了扩大油气勘探领域, 找到更多的油气资源, 复杂、隐蔽型油气藏的勘探开发越来越多地引起广泛重视, 潜山油藏的形成条件、分布规律和勘探方法愈来愈引起人们的重视。所谓潜山一般是指紧邻不整合面之下的曾经受过侵蚀的突起型地质体, 潜山之上一般沉积有相对较年轻的地质体将其覆盖。潜山在地质时期中, 经风化剥蚀、岩溶、构造运动等作用岩石中产生大量裂隙及溶蚀孔洞等储集空间, 后期地壳下沉被新沉积的非渗透地层不整合覆盖, 形成有效圈闭, 油气运移并聚集其中所形成的油藏称为潜山油藏。按岩性可将潜山分为碳酸盐岩潜山、碎屑岩潜山、火成岩潜山和变质岩潜山。济阳坳陷的潜山以碳酸盐岩潜山为主, 古近系烃源岩系是潜山油藏的主要油源, 烃源岩中生成的油在各种动力因素作用下沿输导体向潜山圈闭聚集成藏, 形成了以古近系烃源岩为油源、古生界碳酸盐岩潜山为储层的“新生古储”型油藏。

1 潜山油藏成藏条件

油气能否在潜山中聚集成藏, 关键在于生烃条件配套和成藏配置条件优越。

首先是区域上生油条件的配套, 也就是一个凹陷和含油气系统中要具备潜山成藏的油源基本条件。具备了油源基本条件后, 能否形成潜山油藏还要看是否具有潜山成藏的良好配置, 只有形成良好的配置, 才有可能形成潜山油藏。济阳坳陷潜山成藏的最佳配置应该是中

收稿日期: 2005-11-23

作者简介: 首皓 (1979-), 男, 陕西汉中, 博士研究生, 从事储层预测研究。E-mail: shouhao@mails.gscas.ac.cn. 地址: 北京市朝阳区德外祁家豁子中国科学院地质与地球物理研究所油储教研室第2学科组, 邮编: 100029。

生代及以前形成的古地貌早隆潜山, 这些潜山一般经受了比较强烈的风化淋滤, 储集空间比较发育。良好的烃源岩层不断向潜山超覆覆盖, 中期掩埋, 形成较好的供油条件和盖层, 后期生、排烃, 位于运移通道上的稳定沉降的潜山聚油成藏。

2 济阳拗陷潜山油藏分布特点

济阳拗陷潜山油藏具有多层、多类型的特点, 且古近系、新近系各类油藏叠置其上, 构成复式油气聚集带^[1]。

(1) 沿古风化壳(不整合面)分布

济阳拗陷勘探实践表明, 凡是古风化壳出现的地带, 就有次生储集空间(孔、洞、缝)的产生。不同构造带、不同部位遭受的风化淋滤作用不同, 造成储集体分布有所不同。以桩西地区下古生界潜山为例, 上部岩溶带距风化壳 0~200m, 构造高部位的风化作用强, 溶蚀作用比较充分, 前期形成的大量构造裂缝为溶蚀作用创造了良好的条件, 发育大缝大洞型风化壳。如桩古 10 井和桩古 2 井潜山顶面风化壳, 钻井钻遇奥陶系上、下马家沟组时, 除了泥浆大量漏失、钻具放空外, 伴有强烈的井喷和井涌, 桩古 10 井试油获得了日产千吨的高产, 桩古 2 井的日产量也大于百吨, 表明潜山高部位风化带缝洞十分发育。

又如埕岛地区经过多次构造运动形成了一个平行古风化壳的岩溶带, 距风化壳为 0~300m, 埕北 11 潜山带东部、埕北 20 潜山带东南部、埕北 30 潜山带上古生界剥蚀殆尽, 中生界残留(100~400m)或无中生界, 而直接被古近系覆盖, 印支期、燕山期、喜山期溶蚀作用强, 大洞、大缝等储集空间较发育。埕岛潜山埕北 20 潜山带胜海古 2 井沿风化壳发育良好的厚约 300m 的储集带。济阳拗陷沿不整合面分布的潜山还有车西凹陷的套尔河油田、东营凹陷的乐安油田等。

(2) 沿断层分布

构造裂缝是济阳拗陷潜山油藏的主要储集空间, 它不仅可以单独作为储集空间, 还可作为连接孔、洞、缝的桥梁, 形成统一的渗流系统, 提高孔隙渗透性。研究表明, 济阳拗陷有效的构造裂缝主要是喜马拉雅期断裂运动所产生的, 伴随断裂运动的断块掀斜运动和短暂抬升作用可产生构造裂缝, 其次还有燕山期形成的被方解石充填的构造裂缝, 古近纪因溶蚀作用也产生部分有效空间。

平面上, 构造裂缝主要沿断层两侧分布, 分布范围的远近由断层的规模而定。如钻遇桩西下古生界潜山的桩古 19 井、桩古 10~19 井靠近桩西南界大断层。4 口井裂缝识别测井的资料统计表明, 断层附近裂缝发育带宽度略等于该断层的落差(约 300m)。构造裂缝的发育方向一般与断层走向平行或垂直, 或与断层呈共轭关系。如桩西下古生界断层走向为西北向, 从裂缝玫瑰图来看, 油田东区以北东走向的裂缝为主, 而中区和北区则北东、北西向两组共存。埕岛地区的构造裂缝也有类似的特征。如埕北 30 下古生界潜山断层主要为北东向和北北东向, 其次为近东西向。裂缝发育与之平行或垂直, 主要沿北东向和近东西向发育。岩心资料表明可定向裂缝共 154 条, 其中北东向 84 条, 占 53%, 近东西向 52 条, 占 34%^[2]。剖面上, 构造裂缝发育深度与断层规模有关。断层断距越大, 沿断层面产生的剪切力、张应力(或压应力)也越大。因此, 受断层应力场影响的岩层也就越厚, 即裂缝的垂向发育越大。

3 潜山储层分布的控制因素

济阳拗陷潜山储层的分布主要受控于盆地的形成过程,而盆地的形成又是构造运动的结果,因此构造运动是控制潜山分布的最主要的因素^[3]。

对沉积储层来讲,储集空间主要是沉积作用产生的原生孔隙、成岩作用产生的成岩原生孔隙和成岩次生孔隙,二者互为消长关系。地壳上升,沉积间断,风化剥蚀作用和大气水的淋滤作用则会产生风化剥蚀及溶蚀孔、洞、缝等次生孔隙,还可能扩大早期已形成的储集空间。沉积间断时间越长,产生的风化壳厚度越大。

按形成的地球动力学环境,济阳拗陷所属的渤海湾盆地为伸展盆地。盆地在太古界基地的基础上沉积了中古生界碳酸盐岩和上古生界碎屑岩,并经历了中生代的挤压、伸展作用和新生代的裂陷作用、裂陷后作用。在挤压、上升、下降、伸展断裂的过程中产生了不同时代(主要为中古生界基岩-潜山)的储集空间特征。挤压作用首先发生在印支期,形成了近东西向的宽缓褶皱和北西向的逆断层,使得古生界隆起的高部位遭受强烈的剥蚀。这样,高部位由于风化剥蚀作用形成残余次生储集空间。燕山期表现为挤压和伸展交替,形成的储集空间主要有与断层有关的构造裂缝和与风化剥蚀作用有关的孔、洞、缝。新生代喜马拉雅运动以断裂作用为主,伴随断裂运动及断块的掀斜运动,产生了大量构造裂缝。地壳短暂的抬升过程也容易形成大量的微裂缝。历次构造运动形成的储集空间往往会被充填。研究认为,有效的储集空间的形成时间为古近纪,与油气的大规模运移和聚集时间基本一致。

4 济阳拗陷潜山油藏地质特征及开发特征

4.1 济阳拗陷潜山油藏的共同特征

(1) 地层时代老,与上覆地层呈不整合接触

济阳拗陷潜山储层主要集中在中古生界奥陶系、寒武系碳酸盐岩和前震旦系花岗片麻岩中。其中太古宇潜山与上覆地层(中古生界、中生界、新生界)均为角度不整合接触,中古生界潜山与上覆地层为平行不整合(上古生界)或角度不整合(中生界、新生界)接触。

(2) 经历多期构造,构造断裂系统复杂

济阳拗陷中古生界、太古宇潜山形成时期长,经历构造运动,历史复杂,既有挤压应力环境,也有拉张应力环境。主要应力时期及应力特征有:三叠纪挤压应力环境下的褶皱隆升阶段、侏罗纪-白垩纪既有挤压应力环境又有拉张应力环境的块断抬升阶段和古近纪张应力环境下的掀斜块断改造及掩埋阶段,形成复杂多样的潜山地质构造和断裂系统。

(3) 多种储集空间类型

长期的构造和后生成岩作用使古生界、太古宇形成的原生储集空间几乎丧失殆尽,目前起主要储集和渗流作用的储层空间主要为次生作用形成的孔隙、裂缝、溶洞三大储集空间类型。

孔隙:主要有由白云岩化作用形成的次生白云石晶间孔隙和由易溶矿物选择性溶蚀形成的粒内溶孔、粒间溶孔等,白云石晶间孔是古生界冶里-亮甲山组的主要储集空间类型之一,各类溶蚀孔在灰岩和变质岩中广泛存在,但孔隙半径小,储集性能差。

裂缝:主要为由构造运动形成的构造缝、由上覆压力形成的压溶缝和由风化作用形成的

风化缝等，构造缝广泛分布于构造的轴部、断层部位。

溶洞：为由岩溶作用形成的直径大于 2mm 的储集空间类型。主要分布于下古生界灰岩地层中，钻井过程中往往伴随钻具放空、泥浆大量漏失等现象，岩心观察可直接见到小型溶洞，坍塌角砾岩是识别溶洞的间接标志。

(4) 储层纵向、平面非均质性较强

储集空间成因复杂，早期形成的储集空间受后期各种地质作用的改造作用强烈，造成潜山储层的强非均质性^[3-5]。油井钻遇大型洞穴系统和裂缝系统是油井高产的基础。储层发育受岩性、应力和后期改造（如充填作用）等多种因素的制约，因此造成该类油藏储层非均质程度高于其他类油藏（图 1）。

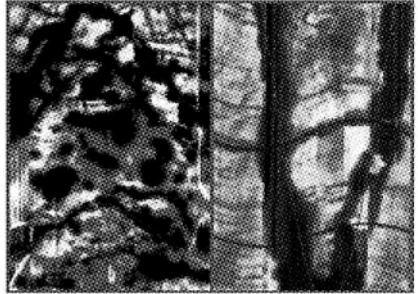
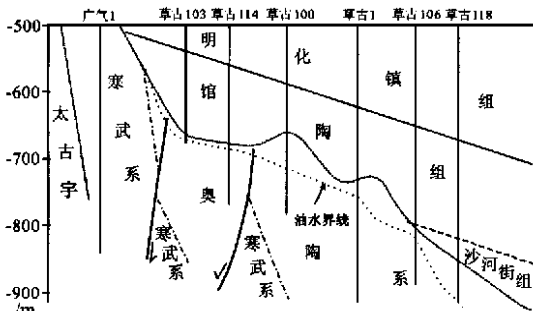


图 1 潜山储层 FMI 成像测井
Fig.1 FMI log of a buried hill reservoir

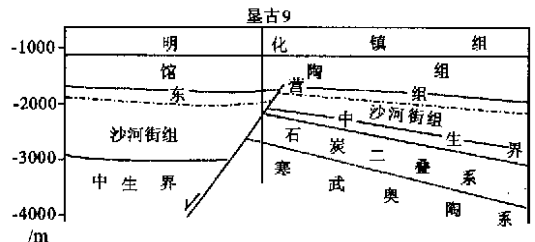
4.2 济阳坳陷潜山油藏的差异性

(1) 上覆地层不同

广饶、王庄等油田与上覆地层呈角度不整合接触，上覆地层一般为新近系；垦利等油田以平行不整合接触为主，上覆地层一般为上古生界石炭系—二叠系地层；埕北等油田主要为角度不整合接触，上覆地层主要为中生界地层（图 2）。



a. 广饶潜山油藏剖面



b. 垦利潜山地层剖面

图 2 不同潜山的上覆地层不同

Fig.2 Different overlying strata on different buried hills

(2) 储集空间、储集类型及储集特征不同

广饶、王庄等裂缝孔隙型油藏，平均孔隙度 6% ~ 10%；垦利等孔隙裂缝型油藏，平均孔隙度 4% ~ 5%；埕北等复杂型油藏的储集空间类型多样，同一油藏不同区块或同一区块不同层位储集类型不同，平均孔隙度 3% ~ 10%。

(3) 储层非均质性存在差异

广饶、王庄等裂缝孔隙型油藏的储层发育主要受溶蚀作用的控制，发育在风化壳顶部，均质性相对较好；垦利等孔隙裂缝型油藏的储层发育主要受断裂作用的控制，断层附近储层发育，非均质性相对较强；埕北等复杂型油藏的储层发育受多种因素的控制，既有溶蚀作用又有应力作用，造成储层非均质性极强。

4.3 济阳坳陷潜山油藏的开发特征

(1) 油藏开发基本不存在稳产阶段

济阳坳陷潜山油藏的开发一般可划分为 4 个阶段：投产阶段，随着投产井数的增加，产

量快速增长，单井产量高，油井基本上处于无水采油期，阶段延续时间短，采出程度低；高产稳产阶段，油藏以方案规定或略高于规定的采油速度相对稳产，油藏处于无水或低含水期；产量迅速下降阶段，随着含水上升，产量迅速下降；低速缓慢递减阶段，油藏以很低的采油速度缓慢递减生产，该阶段延续时间长，但阶段采出程度低。

综合考虑产油量和综合含水的变化，济阳坳陷潜山油藏开发过程包括 3 个阶段：投产阶段，随着投产井数的增加，产量快速增长，单井产量高，油井基本上处于无水采油期，阶段延续时间短，采出程度低；产量迅速下降阶段，随着含水上升，产量迅速下降；低速缓慢递减阶段，油藏以很低的采油速度缓慢递减生产，该阶段延续时间长，但阶段采出程度低。不存在稳产阶段，如王庄、桩西等油藏投产后，采油速度过高，很快进入产量迅速下降阶段（图 3）。

(2) 油藏天然能量较弱，弹性产率低

济阳坳陷潜山油藏一般为边底水能量不充足的低饱和油藏，原始气油比较低，故油藏本身的弹性能量不大。根据油田统计资料，义和庄东块、西块、垦利油藏的天然能量不足，弹性采收率一般在 $2.7 \times 10^4 \sim 6.2 \times 10^4 \text{ t/MPa}$ ，每采 1% 地质储量地层压降为 1.7 ~ 2.86MPa；王庄油田具有一定的天然能量，弹性采收率为 $25.9 \times 10^4 \text{ t/MPa}$ ，每采 1% 地质储量地层压降为 0.29MPa。

(3) 井间、纵向上产能差异较大

济阳坳陷潜山油藏储层非均质性比较严重，因此平面上、纵向上产能亦变化较大。在平面上表现为井间米采油指数相差较大，如义和庄油藏义古 71 井米采油指数高达 $44 \text{ t/d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m}$ ，而义古 63 井米采油指数只有 $0.3 \text{ t/d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m}$ （图 4），二者相差 146.7 倍；在纵向上表现为不同层位之间米采油指数相差较大，如桩西古潜山油藏产油层位主要有八陡组、上马家沟组、下马家沟组、冶里—亮甲山组、凤山组、前震旦系，其中上马家沟组产能最高，每米采油指数为 $2.3148 \text{ t/d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m}$ ，前震旦系产能最低，每米采油指数为 $0.0587 \text{ t/d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m}$ ，二者相差 39.4 倍。

(4) 中、低含水阶段是油藏的主要采油期

由从投入开发时间较长的义和庄、王庄和平方王等油田的含水与可采储量采出程度关系曲线可以看出，当含水达到 40% 时，3 个油田已采出了可采储量的 50% ~ 80%，因此中低含水阶段是油藏的主要采油阶段^[5]。

(5) 油井见水后，含水上升快

潜山油藏具有双重介质特征，即裂缝系统和岩块系统。裂缝系统既是储油空间，又是流体流动的主要通道，在开采过程中，水沿裂缝窜流，往往造成油井一旦见水后，含水上升很快，甚至发生暴性水淹。

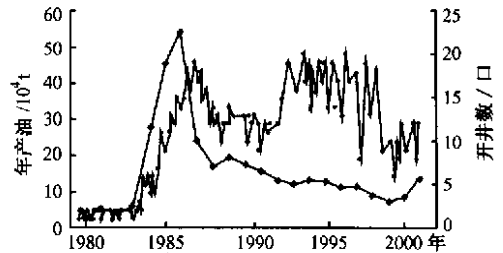


图 3 桩西古潜山油藏年产油量图

Fig.3 Annual production of the Zhuangxi buried hill reservoir

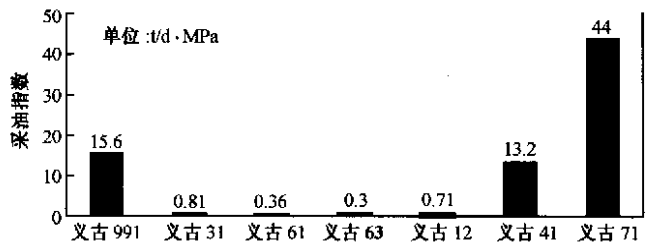


图 4 义和庄奥陶系潜山油藏采油指数柱状图

Fig.4 Histograms of productivity indices of the Ordovician Yihezhuang buried hill reservoir

5 认识与结论

- (1) 济阳坳陷潜山油藏类型复杂, 分布广泛。
- (2) 中生代及以前形成的古地貌早隆潜山是济阳坳陷最有利的潜山油藏勘探目标。
- (3) 潜山储层的储集空间类型复杂, 非均质性强。
- (4) 构造运动是控制济阳坳陷潜山油藏分布的最主要的因素。
- (5) 济阳坳陷潜山油藏的开发特征复杂, 稳产阶段短、产能差异大、含水上升快。

参 考 文 献

- [1] 李丕龙, 张善文, 王永诗, 等. 多样性潜山成因、成藏与勘探——以济阳坳陷为例 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 10~45.
- [2] 王端平, 张敬轩. 胜利油区埕北 30 潜山油藏储层研究 [J]. 石油实验地质, 2000, 22 (4): 346~349.
- [3] 王端平. 基岩潜山油气藏储集空间分布规律和评价方法 [M]. 北京: 地质出版社, 2003. 1~50.
- [4] 王宇蓉, 唐洪三. 埕北 30 潜山油藏的连通性 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 2002, 26 (5): 5~8.
- [5] 张淑娟, 刘大昕, 罗永胜. 潜山油藏内幕隔层及断层控制的剩余油分布模式 [J]. 石油学报, 2001, 22 (6): 50~54.

DISTRIBUTION AND CONSTRAINTS OF BURIED HILL RESERVOIRS IN THE JIYANG DEPRESSION, BOHAI GULF BASIN

SHOU Hao¹, HUANG Shi-yan²

(1. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029; 2. SINOPEC, Beijing 100029*)

Abstract: Buried hill reservoirs in the Jiyang depression have complex types and are widespread, and structural fractures are the main oil accumulation space of buried hill reservoirs. The distribution of buried hill reservoirs in the Jiyang depression is mainly controlled by the process of basin formation. Tectonic movement is the most important factor for controlling the distribution of buried hills. The buried hill reservoirs are highly heterogeneous and there is appreciable difference in reservoir properties of different buried hill reservoirs. The exploitation characteristics of buried hill oil accumulations in the Jiyang depression are complex, the stable production period is short, the production capacities are greatly different and the water content increases quickly. The buried hills formed in or before the Mesozoic are the most favorable exploration target of buried hill oil accumulations in the Jiyang depression.

Key words: buried hill; reservoir; Jiyang depression, Bohai Gulf basin; constraint; distribution characteristics; carbonate rock