

济阳坳陷孤岛与埕岛潜山油气差异富集原因分析

赵凯¹, 蒋有录¹, 刘华¹, 胡洪瑾¹, 徐昊清²

(1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东青岛266580;

2. 中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东东营257000)

摘要: 济阳坳陷孤岛潜山和埕岛潜山油气富集程度差异悬殊, 目前原因尚不清楚。在相关研究的基础上, 通过分析烃源岩有机地化、储盖层物性等特征, 对孤岛、埕岛潜山油气成藏条件进行对比并剖析造成油气差异富集的控制因素。研究表明, 孤岛潜山和埕岛潜山被多个生烃洼陷所环绕, 两者均具有充足的油源; 孤岛潜山溶蚀孔洞、裂缝发育差, 导致油气向潜山内部充注效率低; 而埕岛潜山溶蚀孔、洞、缝发育好, 油气向潜山内部充注效率高, 故潜山储层特征差异是导致两潜山油气差异富集的主要原因; 孤岛潜山东营组遭受剥蚀, 潜山顶部风化壳储层与馆陶组下段砂体直接接触, 潜山风化壳圈闭缺少有效遮挡条件, 导致潜山油气可以在剥蚀处进入馆陶组, 缺失了潜山成藏的保存条件, 与之相比, 埕岛潜山发育良好盖层, 为油气聚集提供了遮挡条件, 保障了规模性潜山油气藏的形成。

关键词: 潜山; 油气藏; 差异富集; 输导体系; 盖层

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

ANALYSIS ON THE CAUSES OF DIFFERENT ENRICHMENT OF HYDROCARBON IN GUDAO AND CHENGDAO BURIED-HILLS, JIYANG DEPRESSION

ZHAO Kai¹, JIANG Youlu¹, LIU Hua¹, HU Hongjin¹, XU Haoqing²

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong, China;

2. Geology Scientific Research Institute of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257000, Shandong, China)

Abstract: There are obvious differences between Gudao and Chengdao buried-hills in the degree of hydrocarbon enrichment, and the reason leading to such differences is still unclear. Base on relative researches and the organic geochemical characteristics and reservoir properties, the conditions of hydrocarbon accumulation occurred in Gudao and Chengdao buried-hills were compared, and controlling factors leading to the differences were analyzed. Both Gudao and Chengdao buried-hills are surrounded by hydrocarbon generation sags. Hence they both have favorable hydrocarbon source conditions. The dissolved pores and fractures in Gudao buried-hill are sparse, which causes low hydrocarbon charging efficiency in this buried-hill. It is such characteristics that lead to low hydrocarbon enrichment degree in Gudao buried-hill. In contrast, the dissolved pores and fractures in Chengdao buried-hill are enriched and the hydrocarbon charging efficiency is relatively high, which are also beneficial to form big pools in Chengdao buried-hill. Furthermore, the Dongying formation in Gudao buried-hill was eroded. Compared with Chengdao buried-hill, the Dongying formation's sealing ability is relatively poor in Gudao buried-

hill, and the top of Gudao buried-hill is directly connected to the sandstones of the lowest section in the Guantao formation. As a consequence, hydrocarbon could enter into the Guantao formation through the sandstones, and therefore it is hard to form reservoirs in Gudao buried-hill. In comparison, the caprock sealing ability is favorable in Chengdao buried-hill, providing effective places for hydrocarbon accumulation and availing the formation of reservoirs.

Key words: buried hill; hydrocarbon reservoir; enrichment differences; passage system; caprock

0 引言

目前中浅层油气田的勘探程度已进入高成熟阶段,随着油气勘探难度日益增大,潜山油气藏的勘探工作逐渐引起石油地质家的重视,成为我国陆上油气储量的又一增长点。特别是近年来,我国潜山油气勘探不断取得新的突破,如2005年辽河油田在1000 m以下发现大型太古界变质岩潜山油气藏^[1],2010年华北油田在霸县凹陷6000 m以下超深碳酸盐岩潜山中取得重大突破^[2],均表明潜山油气藏具备良好的勘探前景。相关学者对潜山油气成藏理论进行了大量研究^[3-5],取得了丰硕的理论成果,如辽河油田提出的“变质岩潜山内幕成藏理论”,华北油田提出的“隐蔽型潜山油气成藏理论”以及胜利油田提出的“多样性潜山成因、成藏理论”均不同程度的指导了潜山勘探工作。目前关于潜山油气差异富集成因等方面的研究仍相对薄弱,探讨该问题有助于选择有利靶区并提高潜山油藏的勘探成效。

胜利油田经历近30年的勘探实践,已接连发现广饶、富台、埕岛等潜山油田,累计探明石油地质储量高达 1.5×10^8 t^[5]。在重点潜山构造带的勘探过程中,地质学者们发现不同潜山构造中油气具有差异富集的特征。例如,埕岛潜山和孤岛潜山在上覆新近系地层中均发现亿吨级大油田,但潜山内部的油气富集特征差异悬殊。埕岛潜山内部探明储量超过 3000×10^4 t^[6],但孤岛潜山内部至今未发现工业性油流,造成两个潜山内部油气差异富集的原因目前尚不清楚。以孤岛潜山和埕岛潜山为例,对比两个潜山的油气成藏条件,探讨分析潜山油气差异富集的原因,以期能够丰富潜山油气成藏理论,为类似潜山油气勘探提供参考依据。

1 区域地质背景

济阳拗陷位于渤海湾盆地东南部,自南而北

发育东营、惠民、沾化、车镇等四个次级凹陷,勘探面积约为 25500 km^2 ,是一个以太古界和古生界为基底的中、新生代复合盆地^[7]。济阳拗陷经历了多期构造演化,中生代北西向断层的展布特征决定了盆地基底形态,新生代北东向断层在此基础上叠加改造,使得拗陷内部形成了凹凸相间的构造格局^[7]。其中,沾化和车镇凹陷基底断层十分发育,活动时间长且强度大,更有利于潜山构造发育;而东营和惠民凹陷断层在新生代活动强度较弱,潜山构造发育较少。平面上,济阳拗陷潜山油气藏主要分布于沾化凹陷和车镇凹陷;纵向上,潜山油气藏主要富集于太古界(Art)变质岩、古生界(Pz)碳酸盐岩和中生界(Mz)碎屑岩中,并以古生界寒武系(ϵ)、奥陶系(O)地层最为富集^[8]。目前,济阳拗陷已发现20多个古潜山油气藏,探明储量占整个济阳拗陷油气总储量的14.8%,成为济阳拗陷一种重要的油气藏类型^[9]。

埕岛潜山和孤岛潜山均位于济阳拗陷的东北部,是两个相互独立的地质单元。埕岛潜山位于埕北低凸起的东南部(见图1),潜山地层自下而上发育太古界、下古生界寒武系、奥陶系和上古生界石炭系(C)一二叠系(P),以三角洲相和泻湖—潮坪相沉积环境为主^[10]。埕岛潜山周围被埕北、渤中和桩东凹陷所包围,经历了前古生界结晶基底形成、早古生界碳酸盐台地整体挤压升降——潜山萌芽、晚古生代海陆过渡整体挤压升降——潜山雏形、中生界构造反转——潜山发育、古近纪断陷——潜山继续发育定型以及新近纪整体拗陷——潜山掩埋成藏六大演化阶段,受埕北断层、埕北20断层、埕北30断层等边界断层的块断翘倾作用而形成凹中隆的构造格局。孤岛潜山位于沾化凹陷中部(见图1),潜山地层以寒武系为主,下部缺失震旦系,上部缺失上奥陶统—下石炭统,沉积环境以浅海相为主。孤岛潜山同样经历了印支期、燕山期、喜马拉雅期等构造运动的改造^[11],南北以孤南断裂和孤北断裂分别与孤南洼陷和孤北洼陷相接,西以孤西断裂与渤南洼

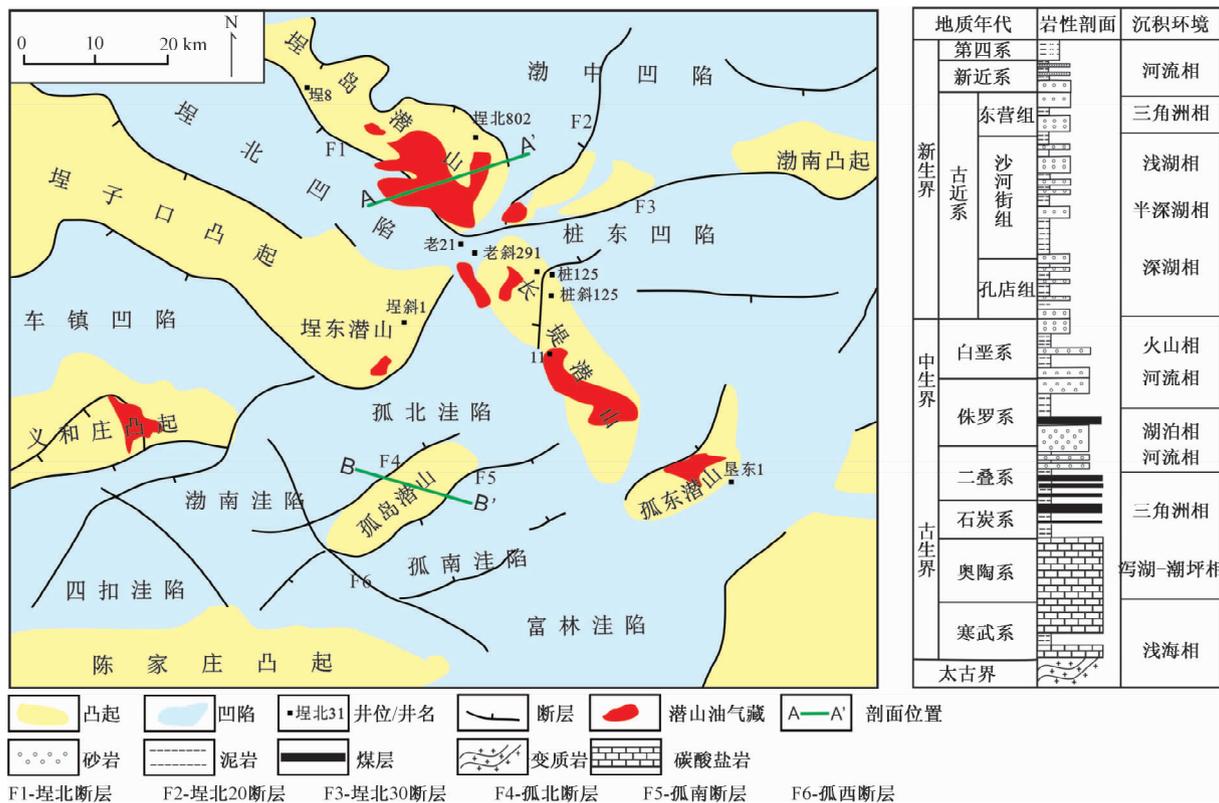


图1 埭岛潜山和孤岛潜山构造位置及地层发育图

Fig. 1 Tectonic location and stratigraphic development map of Chengdao and Gudao buried-hills

陷相分隔，呈现洼中隆的构造格局。

尽管埭岛潜山和孤岛潜山具有相似的构造格局（洼中隆），但两个潜山内部油气富集程度存在显著差异。埭岛潜山油气藏主要富集于古生界和中生界（见图2），探明储量超过 3000×10^4 t，占

埭岛地区总储量的11%，为济阳拗陷最富油潜山之一^[6]。孤岛地区油气主要富集于潜山上覆的新近系（见图2），但潜山内部油气探明储量仅占该区总储量的1%，整体上形成上富下贫的的油气分布特征^[11]（见图2）。

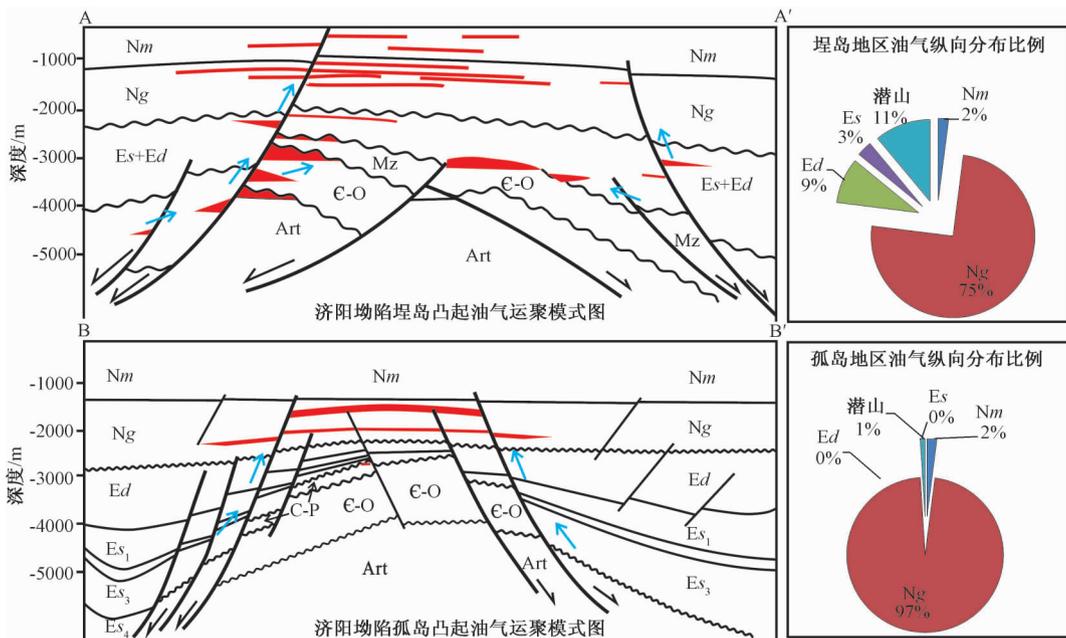


图2 埭岛地区和孤岛地区油气运聚模式图及油气纵向分布比例

Fig. 2 Reservoir profiles and vertical distribution porportion of hydrocarbon in different layers of Gudao and Chengdao buried-hills

2 潜山油气成藏条件对比

勘探实践表明,大型潜山油气藏通常在油源条件、储集条件、输导条件和盖层条件等方面具有明显的优越性^[12]。考虑到潜山储层发育特征能够影响油气向潜山充注的效率,储层条件实际上也是制约潜山油气输导体系有效性的重要因素,因此文章将潜山储层条件并入输导条件综合讨论。

2.1 油源条件

优质的油源条件是油气大规模成藏的基础。济阳拗陷潜山构造带是在基岩古地形隆起背景上发育形成的,通常位于区域内的高凸起部位,并被多个洼陷所环绕^[5]。若多洼陷均发育烃源岩,则能够形成“多对一”的源储供烃关系。

相关学者研究表明^[13],孤岛潜山被渤南洼陷、

孤南洼陷和孤北洼陷所包围,油气来源于三个洼陷发育的沙四段(E_{s4})、沙三段(E_{s3})和沙一段(E_{s1})烃源岩^[13];与之相似,埕岛潜山被紧邻的桩东、埕北和渤中凹陷所围绕,油气来源于各凹陷发育的沙三段(E_{s3})、沙一段(E_{s1})和东营组(E_d)烃源岩^[6]。为明确孤岛潜山和埕岛潜山油源条件的差异性,对各套烃源岩地化参数进行了统计^[6,9,13],并以黄第藩等^[14]制定的烃源岩评价标准,对各套烃源岩质量进行评价对比。研究表明,环绕孤岛潜山和埕岛潜山的各洼陷均至少发育一套好烃源岩,多层系、多洼陷的供烃条件能够为孤岛和埕岛潜山油气成藏提供充足的油源供给(表1)。此外,披覆于孤岛潜山之上的新近系背斜构造带发育亿吨级的大油田,也能够佐证油源条件不是制约孤岛潜山油气富集的因素。

表1 埕岛潜山和孤岛潜山油源条件评价参数

Table 1 Evaluation parameters of hydrocarbon source conditions of Chengdao and Gudao buried-hills

油气来源	埕岛潜山							孤岛潜山						
	埕北凹陷		渤中凹陷			桩东凹陷		渤南洼陷			孤南洼陷		孤北洼陷	
烃源岩	E_{s3}	E_{s1}	E_{s3}	E_{s1}	E_d	E_{s3}	E_{s1}	E_{s4}	E_{s3}	E_{s1}	E_{s3}	E_{s1}	E_{s3}	E_{s1}
有机质类型	I、II ₁	I	II ₁	II ₂	II ₁	II ₁	II ₁	I、II ₁	I、II ₁	I	II ₁	I	I	II ₁
生烃强度/ (10^4 t/km ²)	100~1400	30~250	50~1100	20~360	30~620	50~400	50~450	10~400	50~1200	30~450	50~1200	50~450	50~600	50~250
有机质成熟度	成熟	低熟	高熟	高熟	成熟	高熟	成熟	成熟	成熟	低熟	成熟	低熟	成熟	低熟
TOC/%	3.2~3.4	3.7~4.1	2.9~3.4	1.3~4.1	1.0~3.0	1.8~2.3	<1.0	0.6~2.0	2.6~4.0	2.0~4.0	3.6~4.8	3~4.6	1.8~2.9	1.6~2.1
暗色泥岩 厚度/m	350~400	90~108	300~1000	30~80	250~1300	100~500	30~120	80~350	50~750	0~450	90~500	0~300	50~350	0~150
综合评价	好	好	好	好	较好	好	较好	好	好	较好	好	好	好	中等

2.2 输导条件对比

潜山油气成藏往往具有它源和异地成藏的特征,输导体系对油气藏的形成起着桥梁的作用,扮演着相当重要的角色。油气从烃源岩到潜山圈闭的输导过程可大致划分为两个阶段:油源断层垂向输导阶段和油气向潜山内部侧向充注阶段。

断层能够沟通烃源岩和潜山储层,对于潜山油气藏的形成起着重要作用,但并非所有断层均具有垂向输导能力,只有油气成藏期的活动断层才可在垂向上大规模地有效输导油气,断层活动性越强,垂向输导能力就越强^[15]。埕岛地区发育埕北断层、埕北20断层、埕北30断层等多条基底断层,埕北20断层呈北北西走向,在中生代停止活动,对油气运聚作用较小;埕北断层是埕北潜山与埕北凹陷的边界断层,走向北西 $310^\circ\sim 330^\circ$,倾向南西,倾角 $40^\circ\sim 45^\circ$,累计落差最大2000 m;

埕北30断层包括的埕北30南断层和埕北30北断层,走向基本相同,倾向相反,断面倾角为 $30^\circ\sim 40^\circ$ 。埕北断层和埕北30断层是本区油源断层,在平面上呈帚状展布,主成藏期断层平均活动速率为53 m/Ma,断层开启程度大,输导能力强。孤岛地区发育孤南、孤北和孤西三条基底断层,其中孤西断层停止活动早,成藏期垂向闭合,不作为输导通道。孤北断层和孤南断层是孤岛地区的油源断层,均为北东走向,但倾向相反,平面上呈平行式分布,剖面上呈地垒式组合样式,主成藏期断层平均活动速率为32 m/Ma,油源断层垂向输导能力低于埕岛地区。

埕岛潜山和孤岛潜山储层均以碳酸盐岩为主,原生孔隙不发育,油气储集空间主要为次生溶蚀孔、洞及裂缝。潜山内部发育的次生孔、洞和裂缝还是油气向潜山内部充注的主要通道,即潜山

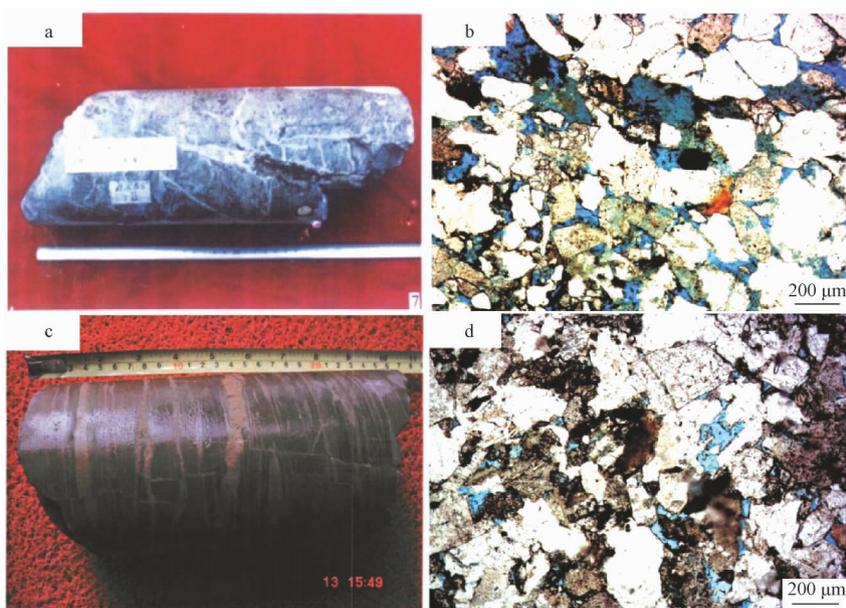
储层优劣能够制约潜山油气“进山”的效率^[16]。岩心观测和铸体薄片观察是确定次生溶蚀孔、洞及裂缝发育特征的有效手段,优选孤岛和埕岛潜山储层段约150 m的岩心进行观测,并制作10余块储层样品进行镜下观测。研究发现,埕岛潜山发育太古宇、古生界和中生界等多套储层,最大储层厚度可达1300 m。该区发育四期大的沉积间断,使潜山构造大面积、长时期遭受强烈的风化剥蚀,观察结果显示,裂缝宽度约为3~10 mm,晶洞和溶洞粒径约2~10 mm,晶间溶孔最大直径

可达20 μm (见表2)。孤岛潜山储层以下古生界奥陶系为主,储集层厚度达到600 m,由于经历了燕山期、喜山期等多期区域性抬升,孤岛潜山储层同样经受了风化剥蚀和淋滤作用。对比分析发现孤岛潜山裂缝宽度约为1~3 mm,晶洞及溶洞粒径约为1~5 mm,晶间溶孔直径约为1~10 μm (见表2,图3)。整体上孤岛潜山溶蚀孔洞、裂缝发育程度明显劣于埕岛潜山。因此,当油气沿断层垂向传导的过程中,油气向孤岛潜山内部侧向充注的效率应低于埕岛潜山。

表2 孤岛潜山和埕岛潜山的缝洞发育特征描述

Table 2 Description of development characteristics of fractures and caverns in Gudao and Chengdao buried-hills

孤岛潜山				埕岛潜山			
井号	深度/m	层位	孔、缝、洞发育特征	井号	深度/m	层位	孔、缝、洞发育特征
孤古3井	2062	O	高角度裂缝宽2 mm	胜海古2	2422.5	O	裂缝宽7 mm
孤古12井	2246	O	高角度裂缝宽1.5 mm	埕北古4	3217	O	裂缝宽5 mm, 晶洞直径7 mm
孤古15井	2133	O	溶洞粒径2 mm, 裂缝宽1 mm	埕北古4	3355	O	裂缝宽10 mm
孤古15井	2300	O	晶洞直径5 mm	桩海102	4305	O	晶洞直径10 mm
孤古16井	2426	O	裂缝宽1.5 mm	桩海102	4318	O	裂缝宽3 mm
孤古16井	3595	ε	裂缝宽1 mm	桩海102	4457	O	裂缝宽5 mm
孤古21井	1638	O	晶洞直径5 mm	桩海10	4240	O	晶洞直径6 mm
孤古21井	2785	ε	裂缝宽1 mm	埕北301	3335	O	晶洞直径7 mm
孤古21井	2803	ε	晶洞直径5 mm	埕北30	3142	O	裂缝宽3 mm, 晶洞直径5 mm
孤古21井	2812	ε	裂缝宽3 mm	埕北30	3222	O	裂缝宽4 mm



a—埕岛潜山裂缝, 埕古5井, 2615 m; b—埕岛潜山溶蚀孔洞, 埕古5井, 2473 m;
c—孤岛潜山裂缝, 孤古21井 2806 m; d—孤岛潜山溶蚀孔洞, 孤古3井 2056 m

图3 埕岛潜山和孤岛潜山裂缝及溶蚀孔洞发育特征

Fig. 3 Development characteristics of fractures and dissolution pores of Chengdao and Gudao buried-hills

2.3 盖层条件对比

盖层位于储集层之上,能阻止油气向上运移

散失,是形成油气藏的基本地质要素^[17]。埕岛潜山的区域性盖层为东营组半深—深湖相暗色泥岩,

该套盖层自披覆构造主体向翼部逐渐加厚,构成了潜山的风化壳盖层,单层厚度多大于25 m,最厚可达100 m以上^[18]。除这套区域性盖层外,埕岛潜山内部寒武系、奥陶系、石炭系和中生界亦发育稳定沉积且孔渗性较差的泥岩隔层(见表3),可作为潜山的内幕盖层,与储集层相配合,在潜山内部形成了多个相互叠合的中、小油气藏(见图4)。孤岛潜山的区域性风化壳盖层同样为东营组暗色泥岩,但受东营组沉积后期区域抬升作用的影响,潜山主体高部位的东营组遭受严重剥蚀,造成部分地区东营组缺失。基于孤岛地区东营组厚度等值线图,统计得出东营组在潜山顶部未覆盖区域的面积达1.84 km²,破坏了孤岛潜山风化壳盖层的横向连续性^[19]。剥蚀区造成了潜山顶部下古生界储层直接与馆陶组(Ng)砂岩相接触,形成“天窗”(见图5)。录井资料表明,孤岛潜山油气显示具有由深到浅越来越多的特征,且向“天窗”附近集中,可推测孤岛潜山油气向潜山顶

部发生了运移,但在东营组剥蚀处进入馆陶组,导致潜山油藏逸散。通过对比发现,孤岛潜山的盖层质量明显不如埕岛潜山,优质的盖层发育是埕岛潜山富集成藏的重要条件。

表3 埕岛潜山不同层系盖层物性表
Table 3 Physical properties of caprocks in different layers of Chengdao buried-hill

井号	深度/m	层位	岩性	孔隙度/%	渗透率/ × 10 ⁻³ μm ²
埕北242	2285	Ed	泥岩	1.39	1.603
埕北242	2318	Ed	泥岩	1.21	0.828
埕北242	2355	Ed	泥岩	1.15	0.551
埕北11	2143	Ed	泥岩	1.43	0.458
埕北11	2174	Ed	泥岩	1.24	0.837
胜海古3	2340	Ed	泥岩	1.18	1.177
胜海古3	2459	Ed	泥岩	1.09	0.89
胜海古3	2826	O	泥岩	0.9	0.713
胜海古3	2850	O	泥岩	0.77	0.76
埕北30	3136	Mz	泥岩	1.37	0.542
埕北30	3247	Mz	泥岩	1.18	0.415

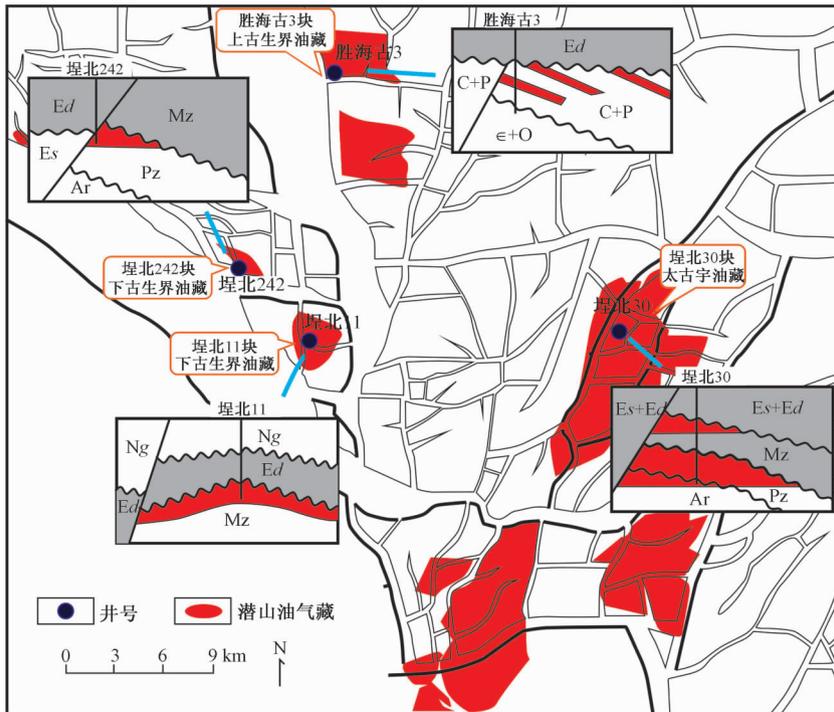


图4 埕岛潜山油气藏纵向分布特征与盖层关系示意图

Fig. 4 The relationship between longitudinal location of buried oil reservoirs and cap rocks in Chengdao area

3 潜山油气富集差异主控因素

3.1 储层质量限制了油气向潜山充注的效率

济阳拗陷潜山油气均为它源成藏,潜山周边

生烃洼陷中生成的油气需经过一定距离的运移才能进入潜山中聚集。因此,当油源条件充足时,输导条件成为制约潜山成藏的主要因素。孤岛潜山与埕岛潜山相比,前者的输导能力和潜山溶蚀孔洞、裂缝发育程度均明显劣于后者,导致油气

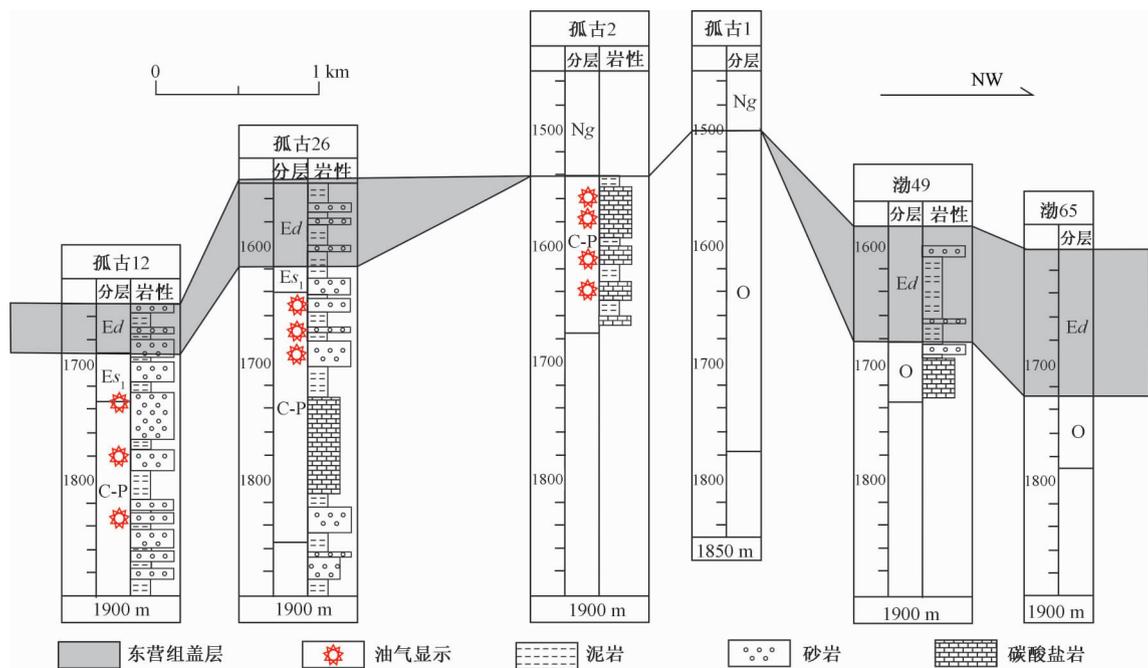


图5 孤岛潜山东营组剥蚀区连井指示图

Fig. 5 Indicating diagram of connecting-well in denudation area of the Dongying formation of Gudao buried-hill

输导效率不足。但考虑到孤岛潜山的新近系披覆带已发现亿吨大油田,说明断层垂向输导能力足以满足规模性油气藏形成,不是造成孤岛潜山油气不富集的原因。因此,制约孤岛潜山油气富集程度的主要原因是因为潜山溶蚀孔洞、裂缝发育较差,导致油气向孤岛潜山内部充注的效率太低。与之相比,埕岛潜山溶蚀孔洞、裂缝发育较好,油气沿油源断层垂向输导过程中向潜山侧向充注效率较高,有利于潜山油气成藏。

3.2 盖层有效性是制约潜山成藏的重要因素

受东营组沉积后期区域抬升作用的影响,潜山顶部的区域性盖层——东营组,普遍遭受剥蚀。当东营组盖层无法保持横向连续,则潜山油气可能在剥蚀处发生逸散,导致潜山油气藏遭受破坏。孤岛潜山顶部发育“逸顶天窗”,缺失了圈闭油气的能力,导致孤岛潜山不能成藏。埕岛潜山发育良好的盖层,为油气聚集提供了有效的遮挡条件,有利于油气进入潜山后形成油气藏。

4 结论

(1) 多层系、多洼陷的油源供给能够为孤岛和埕岛地区潜山成藏提供丰富的油源条件;孤岛潜山油源断层垂向输导能力和溶蚀孔洞、裂缝发育程度均弱于埕岛潜山,油气向潜山内部侧向充

注的效率低于埕岛潜山;孤岛潜山上覆东营组遭受广泛剥蚀,造成部分地区潜山风化壳盖层缺失,盖层有效性明显弱于埕岛潜山。

(2) 孤岛与埕岛潜山油气富集差异的主要原因是前者潜山溶蚀孔洞、裂缝发育较差,导致油气在沿油源断层垂向输导的过程中,向潜山内部侧向分流充注效率低,从根本上控制了潜山油气成藏的物质基础,进而制约孤岛潜山油气富集程度;同时因为在孤岛潜山顶部东营组盖层有 1.84 km² 的剥蚀区,形成“逸顶天窗”,使得潜山顶部风化壳储层直接与馆下段砂体相接触,油气在剥蚀处进入馆陶组,导致孤岛潜山不能成藏。

参考文献/References

- [1] 李云松. 辽河拗陷兴隆台变质岩潜山储层识别及评价[J]. 中国石油勘探, 2008, 13 (5): 49~53.
LI Yunsong. Reservoir identification and evaluation in Xinlongtai metamorphic rock buried Hill of Liaohe Depression [J]. China Petroleum Exploration, 2008, 13 (5): 49~53. (in Chinese with English abstract)
- [2] 金强, 赵贤正, 金凤鸣, 等. 渤海湾盆地深层沙四段-前寒武潜山含油气系统-霸县凹陷为例 [A]. 第八届中国含油气系统与油气藏学术会议论文摘要汇编 [C]. 北京: 中国石油学会石油地质专业委员会, 2015.
JIN Qiang, ZHAO Xianzheng, JIN Fengming, et al. Petroleum system of buried hill in the fourth member of Shahejie formation

- and Cambrian, Bohai Bay Basin [A]. China Petroleum System and Hydrocarbon Reservoir Academic Conference [C]. Beijing, 2015. (in Chinese)
- [3] 孟卫工, 陈振岩, 李湃, 等. 潜山油气藏勘探理论与实践——以辽河拗陷为例 [J]. 石油勘探与开发, 2009, 36 (2): 136~143.
- MENG Weigong, CHEN Zhenyan, LI Pai, et al. Exploration theories and practices of buried-hill reservoirs: a case from Liaohe Depressions [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36 (2): 136~143. (in Chinese with English abstract)
- [4] 高先志, 吴伟涛, 卢学军, 等. 冀中拗陷潜山内幕油气藏的多样性与成藏控制因素 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2011, 35 (3): 31~35.
- GAO Xianzhi, WU Weitao, LU Xuejun, et al. Multiplicity of hydrocarbon reservoir and accumulation controlling factors within buried hills in Jizhong depression [J]. Journal of China University of Petroleum, 2011, 35 (3): 31~35. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李丕龙, 张善文, 王永诗, 等. 多样性潜山成因、成藏与勘探——以济阳拗陷为例 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- LI Pilong, ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, et al. Genesis, genesis and exploration of diverse buried hill: a case from Jiyang depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003. (in Chinese)
- [6] 孔凡仙, 林会喜. 埕岛地区潜山油气藏特征 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2000, 27 (2): 116~122.
- KONG Fanxian, LIN Huixi. Features of buried hill hydrocarbon reservoirs in Chengdao area, Shandong [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27 (2): 116~122. (in Chinese with English abstract)
- [7] 宗国洪, 肖焕钦, 李常宝, 等. 济阳拗陷构造演化及其大地构造意义 [J]. 高校地质学报, 1999, 5 (3): 275~282.
- ZONG Guohong, XIAO Huanqin, LI Changbao, et al. Evolution of Jiyang depression and its tectonic implications [J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5 (3): 275~282. (in Chinese with English abstract)
- [8] 首皓, 黄石岩. 渤海湾盆地济阳拗陷潜山油藏分布规律及控制因素 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (1): 31~36.
- SHOU Hao, HUANG Shiyan. Distribution and constraints of buried hill reservoirs in the Jiyang Depression, Bohai Gulf Basin [J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12 (1): 31~36. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王颖, 王英民, 赵锡奎, 等. 济阳拗陷断块型潜山油气成藏特征 [J]. 天然气工业, 2005, 25 (2): 10~13.
- WANG Ying, WANG Yingmin, ZHAO Xikui, et al. Oil and gas reservoir formation characteristics of fault-block buried hills in Jiyang Depression [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25 (2): 10~13. (in Chinese with English abstract)
- [10] 于世娜, 滕飞, 武群虎, 等. 胜利海上埕岛油田前中生界潜山构造演化及储层特征 [J]. 天然气地球科学, 2013, 24 (2): 345~351.
- YU Shina, TENG Fei, WU Qunhu, et al. The structural evolution and reservoir characteristics of Pre-Mesozoic in Chengdao offshore oilfield of Shengli oilfield company [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24 (2): 345~351. (in Chinese with English abstract)
- [11] 孙玮, 刘树根, 时华星, 等. 济阳拗陷孤岛碳酸盐岩潜山构造演化及油气成藏特征 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2007, 34 (1): 36~40.
- SUN Wei, LIU Shugen, SHI Huaxing, et al. A study on the structural evolution and the petroleum characteristics of Gudao carbonate buried hill in Jiyang Depression, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2007, 34 (1): 36~40. (in Chinese with English abstract)
- [12] 杨明慧. 渤海湾盆地潜山多样性及其成藏要素比较分析 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29 (5): 623~631, 638.
- YANG Minghui. Diversity of buried-hills and comparison of their hydrocarbon-pooling factors in the Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29 (5): 623~631, 638. (in Chinese with English abstract)
- [13] 雍自权. 济阳拗陷孤岛潜山下古生界油气成藏条件和机理研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2007.
- YONG Ziquan. Studies on hydrocarbon accumulation conditions and mechanism of the Gudao buried hill in Jiyang Depression [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [14] 黄第藩, 李晋超, 周寿虹, 等. 陆相有机质演化和成烃机理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.
- HUANG Difan, LI Jinchao, ZHOU Zhuhong, et al. Terrestrial organic matter evolution and hydrocarbon generation mechanism [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984. (in Chinese)
- [15] 蒋有录, 刘培, 宋国奇, 等. 渤海湾盆地新生代晚期断层活动与新近系油气富集关系 [J]. 石油与天然气地质, 2015, 36 (4): 525~533.
- JIANG Youlu, LIU Pei, SONG Guoqi, et al. Late Cenozoic faulting activities and their influence upon hydrocarbon accumulations in the Neogene in Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36 (4): 525~533. (in Chinese with English abstract)
- [16] 吴伟涛, 高先志, 李理, 等. 渤海湾盆地大型潜山油气藏形成的有利因素 [J]. 特种油气藏, 2015, 22 (2): 22~26.
- WU Weitao, GAO Xianzhi, LI Li, et al. Favorable conditions formed in large-scale buried-hill reservoir in Bohai Bay Basin [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2015, 22 (2): 22~26. (in Chinese)
- [17] 蒋有录, 叶涛, 张善文, 等. 渤海湾盆地潜山油气富集特征与主控因素 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2015, 39 (3): 20~29.
- JIANG Youlu, YE Tao, ZHANG Shanwen, et al. Enrichment characteristics and main controlling factors of hydrocarbon in buried hill of Bohai Bay Basin [J]. Journal of China University

of Petroleum, 2015, 39 (3): 20 ~ 29. (in Chinese with English abstract)

- [18] 付兆辉, 陈发景, 刘忠胜, 等. 渤海湾盆地埕岛油田缝洞型潜山油气藏构造及储层特征 [J]. 海相油气地质, 2008, 13 (1): 37 ~ 44.

FU Zhaohui, CHEN Fajing, LIU Zhongsheng, et al. Tectonic and reservoir characteristics of fractured-caved buried-hill reservoir in Chengdao oil field, Bohaiwan Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2008, 13 (1): 37 ~ 44. (in

Chinese with English abstract)

- [19] 石砥石. 济阳坳陷孤岛潜山油气充注特征 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2008, 35 (5): 512 ~ 516.

SHI Dishu. Characterstics of the evidences of oil and gas injection in the Gudao buried hill of Jiyang depression, Shandong, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2008, 35 (5): 512 ~ 516. (in Chinese with English abstract)