



## 中国海域基岩油气藏特征及未来勘探方向

王建强, 梁杰, 陈建文, 张银国, 赵青芳, 董贺平, 李双林, 孙晶

### Characteristics of the recently bedrock hydrocarbon reservoir in China Seas and future exploration directions

WANG Jianqiang, LIANG Jie, CHEN Jianwen, ZHANG Yinguo, ZHAO Qingfang, DONG Heping, LI Shuanglin, and SUN Jing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2021031201>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 南黄海崂山隆起二叠系砂岩储层特征及其油气勘探前景

Characteristics and hydrocarbon prospects of the Permian sandstone reservoirs of the Laoshan Uplift, South Yellow Sea  
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 181

#### 海洋天然气水合物储层特性及其资源量评价方法

Characteristics of marine gas hydrate reservoir and its resource evaluation methods  
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 44

#### 海洋天然气水合物储层蠕变行为的主控因素与研究展望

Controlling factors and research prospect on creeping behaviors of marine natural gas hydrate-bearing-strata  
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 3

#### 南海北部陆坡神狐海域SH-CL38站位的粒度特征及沉积记录

Sediment grain size characteristics of the Core SH-CL38 in the Shenhu area on the northern continental slope of the South China Sea  
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 90

#### 北黄海盆地东部拗陷中生界次生孔隙的发育规律

Development of Mesozoic secondary pore zones in the Eastern Depression of North Yellow Sea Basin  
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 194



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2021031201

# 中国海域基岩油气藏特征及未来勘探方向

王建强<sup>1,2</sup>, 梁杰<sup>1,2</sup>, 陈建文<sup>1,2</sup>, 张银国<sup>1,2</sup>, 赵青芳<sup>1,2</sup>, 董贺平<sup>1,2</sup>, 李双林<sup>1,2</sup>, 孙晶<sup>1,2</sup>

1. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071

2. 青岛海洋科学与技术国家试点实验室海洋矿产资源评价与探测功能实验室, 青岛 266071

**摘要:**基岩油气藏是一种特殊类型的油气藏。随着渤中 19-6 凝析气藏、永乐 8-3-1 基岩油气藏及渤中 13-2 油气田等取得重大突破,证实中国海域基岩油气藏具有巨大勘探潜力。截至目前,已在渤海盆地、北部湾盆地、琼东南盆地、珠江口盆地获得多个高产基岩油气田。中国海域基岩油气藏具有分布广泛、纵向层系多、岩性多、类型多样的特征,主要发育前寒武系变质岩和混合花岗岩、古生代碳酸盐岩、中生代火山岩以及花岗岩侵入体、中生代碎屑岩等 4 套储层,尤其以前寒武系变质岩和中生代花岗岩侵入体为主。研究表明基岩油气藏主要表现为新生古储,其形成主要受控于富烃凹陷、构造运动、储盖条件等多种控制因素的影响。在总结前人成果的基础上,指出了中国海域未来基岩油气藏勘探应重点关注 6 大勘探方向:渤海盆地残山,北黄海盆地东部拗陷东北部局部凸起,南黄海盆地凸起带,东海陆架盆地低凸起,北部湾盆地涠西南凹陷、珠江口盆地惠州凹陷和琼东南盆地松南低凸起,南海南部中建南盆地和万安盆地。

**关键词:**基岩油气藏;新生古储;控制因素;勘探方向

中图分类号:P744

文献标识码:A

## Characteristics of the recently bedrock hydrocarbon reservoir in China Seas and future exploration directions

WANG Jianqiang<sup>1,2</sup>, LIANG Jie<sup>1,2</sup>, CHEN Jianwen<sup>1,2</sup>, ZHANG Yinguo<sup>1,2</sup>, ZHAO Qingfang<sup>1,2</sup>, DONG Heping<sup>1,2</sup>, LI Shuanglin<sup>1,2</sup>, SUN Jing<sup>1,2</sup>

1. Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China

2. Pilot Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China

**Abstract:** Great breakthroughs have been made recently in the exploration of hydrocarbon in bedrock reservoirs in China Seas, such as the Bozhong 19-6 condensate gas reservoir, the Yongle 8-3-1 bedrock oil and gas reservoir and the Bozhong 13-2 oil and gas field, which prove that bedrock oil and gas reservoirs have great potential in offshore China. Up to now, many high-yield bedrock oil and gas fields have been found in the Bohai Basin, Beibu Gulf Basin, Qiongdongnan Basin and Pearl River Mouth Basin. The bedrock hydrocarbon reservoirs in China's sea areas are characterized by wide distribution, multiple layers in vertical sequence, changing lithology and multiple types. As observed, there are four sets of major reservoirs: the Precambrian metamorphic rocks and migmatitic granite, the Paleozoic carbonate rocks, the Mesozoic volcanic rocks and granite intrusions and the Mesozoic clastic sequences, among which the Precambrian metamorphic rocks and Mesozoic granite intrusions dominate. The bedrock oil and gas reservoir is the kind of bedrock reservoir filled by later generated hydrocarbons, and their formation is controlled by many factors, such as source rocks, tectonic activities, reservoir properties and sealing conditions. On the basis of previous researches, it is suggested that the future exploration of bedrock oil and gas reservoirs in China's sea areas should focus more on the following six aspects: the residual mountains in the Bohai basin; the local uplift in the northeast of the eastern depression of the North Yellow Sea Basin; the uplifting belt of the South Yellow Sea Basin; the low uplift in the East China Sea shelf basin; the Weixi 'nan Sag in the Beibu Gulf Basin, the Huizhou Sag in the Pearl River Mouth Basin and the Songnan Low Uplift in Qiongdongnan Basin; and the Zhongjiannan Basin and Wan 'an Basin in the southern South China Sea.

**Key words:** bed rock hydrocarbon reservoir; bedrock reservoirs filled by later generated hydrocarbons; controlling factors; exploration direction

一个多世纪的油气勘探实践表明,基岩油气藏盆地中发现数百个工业性油气藏,如古台地(北美和南美)、年轻平台(西西伯利亚和西欧),中生代地分布比较广泛,遍及全球六大洲,已在全球 30 多个

**资助项目:**地质调查专项“崂山隆起构造沉积条件地质调查”(DD20190818),“重点海域油气调查”(DD20211353),“东海南部闽江-基隆凹陷中生界油气资源调查”(DD20190211),“深海调查——印度洋”(DD20191032);国家自然科学基金项目“南黄海崂山隆起中南部海底渗漏烃类源区示踪与运移路径重建”(41776075);山东省基金项目“南黄海盆地崂山隆起海底烃类渗漏成因及其三维模型构建”(ZR2019BD067)

**作者简介:**王建强(1985—),男,博士,高级工程师,从事石油地质和海域油气战略研究, E-mail: wangjianqiang163@163.com

**通讯作者:**陈建文(1965—),男,博士,研究员,主要从事海域油气资源调查评价与研究, E-mail: jwchen2012@126.com

**收稿日期:**2021-03-12; **改回日期:**2021-04-20. 周立君编辑

层(越南大陆架)和年轻造山褶皱带山间凹陷(阿根廷和委内瑞拉)<sup>[1]</sup>。基岩油气藏单体规模大,具有较大的地质储量,如越南白虎、中国渤中 19-6、渤中 13-2 都是地质储量超亿吨大油气田<sup>[2-3]</sup>。与成层性良好的沉积岩油气藏相比,基岩油气藏属于一种特殊类型的油气藏,具有外来油气源、非均质性储层、广布性圈闭等特征,相比自生自储的原生油气藏、下生上储的浅层气藏更难以富集<sup>[4-5]</sup>。

中国管辖海域约 300 万 km<sup>2</sup>, 涉及渤海、黄海、东海和南海,发育 31 个大小不等、形态各异的中-新生代沉积盆地<sup>[6]</sup>。海域油气勘探从 1957 年在海南岛西南莺歌海盆地调查油气苗持续至今,主要集中在渤海、南黄海、东海陆架、莺歌海、北部湾、琼东南等盆地。勘探成果表明中国海域油气资源丰富,但是油气资源分布不均、探明程度较低。随着海域油气勘探程度的不断提高,勘探目标逐渐向深层、非常规等新领域转变<sup>[7]</sup>,已在渤海湾盆地(海域)、北部湾盆地、珠江口盆地等多个盆地中发现基岩油气藏。近年,随着渤中 19-6 凝析气藏、永乐 8-3-1 潜山气藏、渤中 13-2 油气藏等取得重大突破,证实中国海域基岩油气藏具有巨大勘探潜力,已成为成熟探区精细探查、开拓新领域提供借鉴。海域沉积盆地多为发育在变质岩、碳酸盐岩等基底之上的叠合盆地,不同地区的沉积盆地经历了不同的构造演化阶段,下覆地层遭受多期构造运动影响,受到长时间的风化剥蚀、淋滤等作用,易形成基岩古地貌。因此,基岩油气藏是未来海域油气增储上产的重要研究方向,已成为盆地油气勘探重要的接替领域。本文通过梳理总结中国海域基岩油气藏发育及分布特征,探讨了基岩油气藏形成的主控因素,提出了海域基岩油气藏未来的勘探方向,以期对未来海域油气勘探战略部署和选区提供一定的借鉴。

## 1 基岩油气藏的概念

基岩概念首先是 Walters 在 1953 年美国石油地质协会提出<sup>[8]</sup>,直到 1960 年由 Landes 首次对基岩油气藏进行了定义,认为基岩油气藏是油气聚集于盆地结晶基底形成的油气藏,储层主要为变质岩或火成岩这两种岩石类型<sup>[8-10]</sup>。随着勘探技术和理论的不进步,目前国内外学者认为基岩与盆地的形成期有关,不同盆地基岩具有差异性,既可以是变质岩或火成岩,也可以是沉积岩,是盆地形成时的基底地层,凡是在结晶基底或盆地成盆前沉积地层中形成的油气藏都可称为基岩油气藏<sup>[8-11]</sup>。

基岩油气藏是一类特殊的油气藏,是上覆的生油岩生成油气聚集在盆地基底地层形成的油气藏,主要发育在裂陷盆地、走滑盆地和前陆盆地,具有“新生古储”的特点,储层类型多样,其储集层包括火山岩、花岗岩、变质岩、碎屑岩、碳酸盐岩等多种类型,其中花岗岩基岩油气藏最多(表 1)。从全球来看,基岩油气藏在太古至古近系均有分布,最重要的产油气层系为寒武系。

## 2 中国海域盆地基底特征

### 2.1 盆地基底性质

中国海域沉积盆地地处三大板块,渤海、北黄海盆地位于华北板块之上,南黄海盆地位于扬子板块之上,而北部湾等盆地位于华南板块之上,由于处于不同的大地构造位置,不同地区基底性质具有较大的差异<sup>[14]</sup>(表 2)。渤海湾盆地基底由前寒武纪变质岩结晶基底和中元古界至中生界不连续的沉积岩两部分组成,岩性主要为碳酸盐岩及碎屑岩。根据渤海海域前新生代基底岩性、地层、结构、构造特征,将渤海基底划分为前寒武系、古生界、中生界三个构造层<sup>[15]</sup>。北黄海盆地是一个残余的中-新生代盆地,基底与渤海盆地相同,同属于华北克拉通。南黄海盆地是一个大型的叠合盆地,其陆相中-新生代盆地基底为扬子克拉通,岩性以碳酸盐岩和碎屑岩为主。东海陆架盆地基底由中元古代变质岩和晚中生代燕山期火成岩组成<sup>[16-17]</sup>。珠江口盆地基底由不同部分组成,盆地东北部基底大部分为中生代沉积岩以及燕山期花岗岩及火山岩,盆地西部基底主要为古生代变质岩<sup>[18]</sup>。北部湾盆地发育于大陆型地壳之上,基底主要由古生代变质岩和沉积岩组成<sup>[17]</sup>。莺歌海盆地基底主要为中生代至古生代的沉积岩和中生代的中性、酸性侵入岩以及玄武岩等<sup>[19]</sup>。琼东南盆地的基底主要为华南加里东褶皱带向海上的延伸部分,陆架厚度较薄,基底岩性为火成岩、变质岩及沉积岩<sup>[20]</sup>。中建南盆地基底为中生代花岗岩和变质岩,包括侏罗系至下白垩统花岗岩、安山岩、流纹岩等。万安盆地构造高部位基岩由花岗岩、火山岩和低变质岩组成。北康盆地基底为前中生代变质岩和酸性-基性火成岩<sup>[21]</sup>。总体来说,中国海域沉积盆地是在前中-新生界基础上发育起来的,基底地层时代从北向南由老至新的趋势,岩性主要为前寒武系变质岩、下古生界浅变质岩以及中生界花岗岩和变质岩。

表 1 全球主要基岩油气藏分布特征<sup>[1-2,12-13]</sup>  
Table 1 World distribution characteristics of important basement rock hydrocarbon reservoirs

国家	构造位置	油气藏类型	油气田名称	盆地类型	地层时代	储层岩性
埃及	蔡特盆地	油藏	蔡特湾	裂陷盆地	Є	火成岩+变质岩
利比亚	苏尔特盆地	油藏	拿法拉-奥季拉	裂陷盆地	Є	花岗岩
中国	酒西盆地	油气藏	鸭儿峡	前陆盆地	S	变质岩
中国	下辽河盆地	油气藏	兴隆台	裂陷盆地	Ar	砾岩+花岗岩
中国	渤海湾盆地	油气藏	义和庄	裂陷盆地	O	石灰岩
中国	辽河盆地	油藏	东胜堡	裂陷盆地	Ar	变质岩
中国	渤海湾盆地	油气藏	任丘	裂陷盆地	Z	白云岩
中国	渤海湾盆地	油气藏	渤中19-6	裂陷盆地	Ar	变质岩
中国	渤海湾盆地	油气藏	渤中13-2	裂陷盆地	Ar	变质岩
中国	海拉尔盆地	油藏	布达特群	裂陷盆地	Ar	碎屑岩
中国	塔里木盆地	油气藏	轮南古隆起	克拉通盆地	O	碳酸盐岩
印度尼西亚	贾提巴朗盆地	油藏	贾提巴朗	弧后盆地	E	火成岩
印度尼西亚	巴里托盆地	油藏	丹戎	前陆盆地	E	火成岩+变质岩
越南	湄公河盆地	油气藏	白虎、龙	裂陷盆地	Є	花岗岩
越南	万安盆地	油藏	大熊	裂陷盆地	E	花岗岩
美国	洛杉矶盆地	油藏	爱迪生	走滑盆地	J	变质岩+火成岩
美国	堪萨斯隆起	油藏	克拉克福特-普普萨	中央隆起	Є	灰岩+石英岩
美国	堪萨斯隆起	油藏	林华尔	中央隆起	Є	石英岩
美国	洛杉矶盆地	油藏	威明顿	断陷盆地	J	片岩
委内瑞拉	拉波开波盆地	油藏	拉巴斯-马拉	前陆盆地	K	石灰岩
阿尔及利亚	三叠盆地	油藏	哈西迈萨乌德	裂陷盆地	Є	石英砂岩

表 2 中国海域含油气盆地基岩地层对比<sup>[14]</sup>  
Table 2 Bedrock stratigraphic correlation of offshore petroliferous basins in China<sup>[14]</sup>

时代	渤海湾盆地	北黄海盆地	南黄海盆地	东海陆架盆地	珠江口盆地	北部湾盆地	莺歌海盆地	琼东南盆地	中建南盆地	万安盆地	北康盆地
第四纪											
上新世											
中新世											
渐新世											
始新世											
古新世											
前古近系	白垩系 侏罗系 古生界 前寒武系	白垩系 侏罗系 石灰岩 变质岩	中生界 古生界 前寒武系	白垩系 侏罗系 岩浆岩 变质岩	岩浆岩 变质岩	石灰岩 花岗岩 变质岩	岩浆岩 变质岩	岩浆岩 变质岩	花岗岩 变质岩	花岗岩 火山岩 变质岩	变质岩 酸性-基性 火成岩

## 2.2 盆地类型

中国海域盆地夹持在太平洋板块、印-澳板块和欧亚板块之间,同时受到古特提斯构造域和滨太平洋构造域影响,自中生代以来,在伸展动力学背

景作用下,岩石圈减薄、裂陷,导致基底发生不同程度的构造变形,形成了一系列不同规模的半地堑、地堑及半地垒相间的基底结构及断裂系统,进而形成了相间排列的半地堑群,导致盆地结构和演化有很大的差异性。由于中国海域基底性质、盆地板块



构造位置及其构造背景等不同,同时加上板块间构造运动方式的改变,在中国海域形成性质各异的盆地,造成了渤海、黄海、东海及南海诸盆地类型具有分段性。渤海、北黄海及南黄海盆地属于陆内裂谷盆地。东海陆架及台西南-台西盆地属于弧后盆地。珠江口、北部湾及琼东南盆地属于被动大陆边缘盆地。莺歌海、万安及中建南盆地属于走滑拉分盆地。北康、南薇西及礼乐盆地属于裂离陆块盆地<sup>[6,14]</sup>(图1)。

### 3 中国海域基岩油气藏特征

#### 3.1 基岩油气藏分布广泛、纵向层系多

近年来,随着海域油气勘探程度的不断提高,基岩油气藏已成为中国海域油气勘探的增储上产重要领域。半个多世纪的基岩油气藏勘探实践表明,海域基岩油气藏具有平面分布广泛、纵向分布层系多的特点(图1)。自1975年427古生界基岩潜山油气藏发现至今,已在渤海盆地、北部湾盆地、琼东南盆地、珠江口盆地、万安盆地等多个盆地中发现基岩油气藏,于古生界、中生界、元古界和太古界中均发现了高产油气流<sup>[22]</sup>。勘探实践表明海域基底潜山地层发育齐全,从太古界到中生界皆有发育<sup>[22-24]</sup>,自下而上可划分为三大构造层:太古界—元古界构造层、古生界构造层和中生界构造层(图2)。太古宇基岩油气藏是渤海盆地重要的基岩油气藏类型,在渤中凹陷、辽西低凸起等地区均有发现。古生代基岩油气藏主要分布在渤海盆地的渤中凹陷、渤南凸起、石臼坨凸起、沙垒田凸起以及北部湾盆地涠西南凹陷。中生代基岩油气藏在渤海盆地、珠江口盆地、琼东南盆地、万安盆地均有发现。

#### 3.2 基岩油气藏储层岩性多样

海域基岩油气藏主要发育4套储层,即前寒武系变质岩和混合花岗岩、古生代碳酸盐岩、中生代火山岩以及花岗岩、中生代碎屑岩,尤其以前寒武系变质岩和中生代花岗岩侵入体为主(表3)。渤海基岩储层岩性多样,包括变质岩、混合花岗岩、碳酸盐岩、火山岩以及花岗岩、碎屑岩。北黄海和东海已被证实的基岩储层岩性为变质岩。南黄海基岩储层岩性主要为残留的古生界海相碳酸盐岩。南海已被证实的基岩储层岩性为碳酸盐岩和花岗岩。

变质岩储层岩性主要以浅灰色片麻岩及其形

成的碎裂岩为主,岩性比较均一,岩石矿物颗粒较粗,含有较低含量的暗色矿物,同时由于受到不同方向应力作用的叠加,导致岩石碎裂程度较高,这些不同方面的因素为储层发育提供了良好的物质基础<sup>[28]</sup>,如渤中19-6凝析气田<sup>[29-30]</sup>。

碳酸盐岩储层岩性主要以白云岩为主,其次为灰岩和白云质灰岩或灰质白云岩,脆性较大,受构造作用的影响易形成大量的裂缝,同时又经长期风化淋滤、溶蚀作用,溶蚀现象普遍,造成原生孔隙消失殆尽,次生孔隙大量发育,形成大量次生溶蚀孔、洞、缝,从而改善了碳酸盐岩储层的储集性能。如BZ28-1油气田。

火山岩储层油气藏主要分布在侏罗系的中基性火成岩中,岩性以安山岩、玄武岩、凝灰岩为主,如埕北低凸起北坡、428西构造,易形成小型油气藏。中生代花岗岩油气藏储层为不同蚀变程度的花岗岩,在构造应力、风化岩溶等作用下,储集空间包括基质孔和裂缝两类,有利的储层段分布在基岩中上部的砂质带、碎裂-裂缝带,横向连通性好,裂缝和次生溶蚀共同发育的层段是花岗岩基岩油气藏寻找的目标,也是目前主要的含油气层段。

#### 3.3 基岩油气藏类型多样

基岩油气藏类型可从油气藏所处位置、成因、储层岩性等多方面进行划分<sup>[31-37]</sup>。一般以一至两种主要因素为分类基础,选用另外一些能表明不同油气藏特点的因素作补充进行命名。如按照基岩油气藏所处的位置可以划分为基岩顶部油气藏和基岩内幕油气藏两种类型。基岩顶部油气藏形成受控于多种成因形成的基岩古地貌,与上覆的地层形成储盖组合关系。基岩内幕油气藏指地层岩性之间物性(刚性、塑性)的差异造成了裂缝发育程度的不同,刚性岩石裂缝发育形成储层,塑性岩石裂缝不发育形成盖层,从而在基岩内部形成储盖组合,该类油藏称为基岩内幕油气藏<sup>[38]</sup>。

基岩油气藏分类方案前人主要侧重单因素分析,从某一个方面反映油气藏的特征,如按照储层的岩性可以划分为碳酸盐岩、火成岩、变质岩、碎屑岩等油气藏,按照地层时代可划分为中生界、古生界、元古宇和太古宇等油气藏。中国海域基岩油气藏具有结构多样、岩性多样、形态多样的特征,单因素分类方案不能体现出这“三多”特征。为了体现中国海域盆地基底岩性、构造特征及圈闭成因差异性,综合考虑海域基岩油气藏“三多”特征,结合前人对于基岩油气藏的分类,厘定“位置-构造-

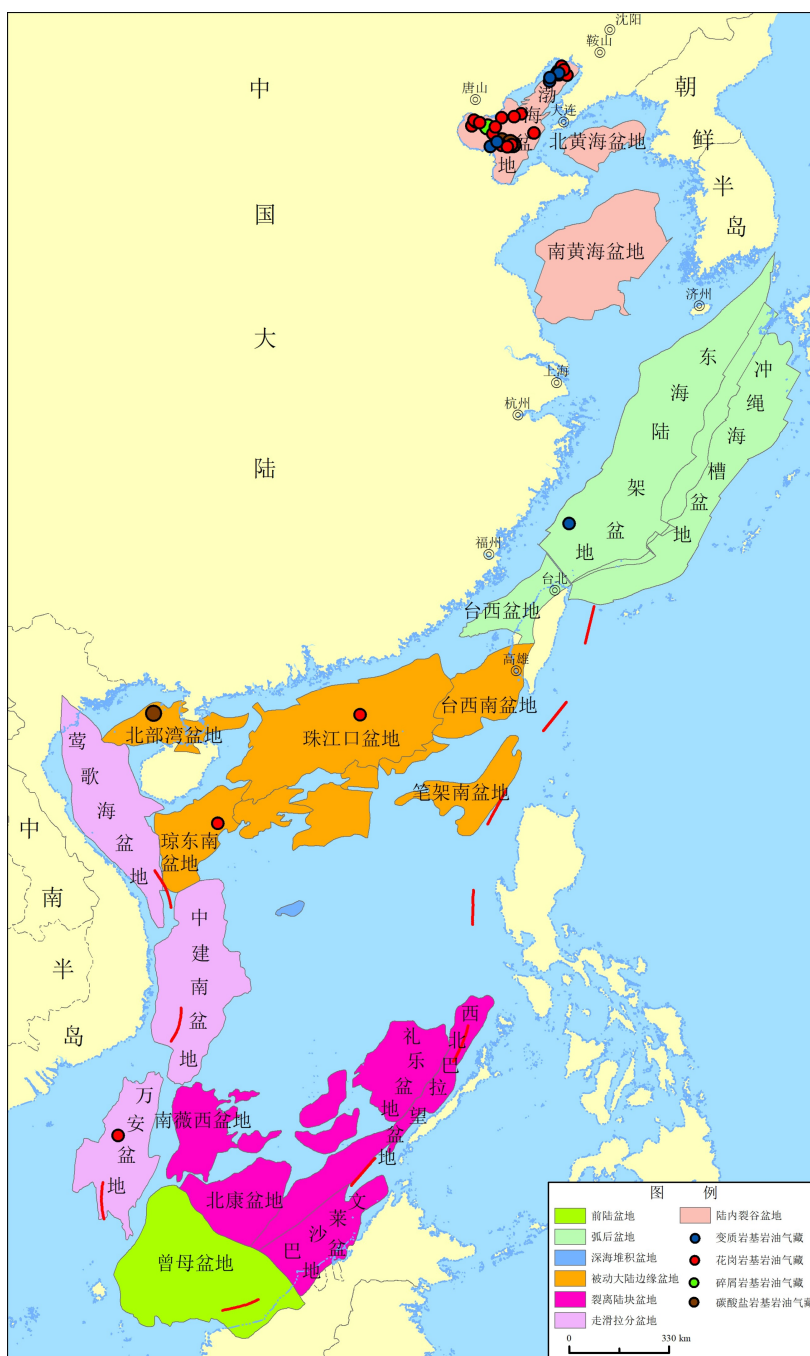


图 1 中国海域基岩油气藏分布图

Fig.1 Distribution map of basement rock hydrocarbon reservoirs in China Sea

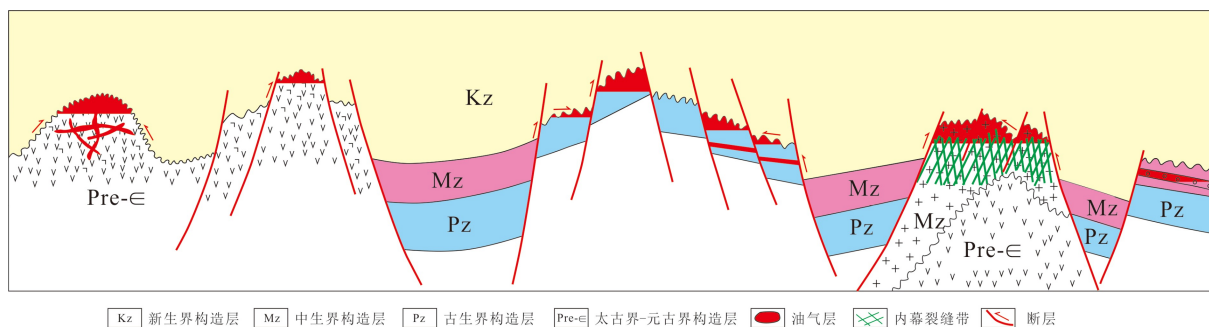


图 2 中国海域基岩油气藏模式

Fig.2 The model of bedrock hydrocarbon reservoir in China Sea

表3 中国海域典型基岩油气藏<sup>[2,25-27]</sup>  
Table 3 Statistics of bedrock hydrocarbon reservoirs in offshore China<sup>[2,25-27]</sup>

基岩油气藏	构造	岩性
蓬莱9-1潜山油藏	庙西北凸起	中生界二长花岗岩
锦州25-2S潜山油藏	辽西北凸起	太古界二长片麻岩、斜长片麻岩
曹妃甸11-6潜山油藏	沙垒田凸起	混合化黑云母花岗岩
曹妃甸18-2潜山凝析气藏	沙垒田凸起	二长花岗岩
渤中26-2潜山凝析气藏	渤海凸起	英云闪长岩、花岗闪长岩
锦州20-2凝析气藏	辽西低凸起	混合岩、碎屑岩
渤中19-6凝析气藏	渤中凹陷	太古界变质岩
渤中13-2油气田	渤中凹陷	太古界变质岩
渤中28-1油气田	渤南凸起	古生界碳酸盐岩
岐口17-9油气田	岐口凹陷	碎屑岩
428W、428E油气田	石臼坨凸起	古生界碳酸盐岩
曹妃甸2-1油气田	沙垒田凸起	古生界碳酸盐岩
涸6-1、涸10-3N等油气田	涸西南凹陷	古生界碳酸盐岩
惠州26-6油气田	惠州凹陷	中生界花岗岩
永乐8-1油气田	松南低凸起	中生界花岗岩
大熊油田	万安盆地	中生界花岗岩

油藏几何形状”的划分方案,将海域基岩油气藏分为基岩顶部风化壳油气藏和基岩内幕油气藏两种类型。基岩顶部潜山分为侵蚀残丘、断垒、断块-断阶和构造残丘四种类型。基岩内幕油气藏分为断块、地层和不规则状三种类型(表4)。

## 4 基岩油气藏形成的控制因素

### 4.1 富烃凹陷提供充足的气源

富烃凹陷决定了盆地油气资源前景,同时控制着油气藏(田)的分布。基岩地层不具备生烃能力或生烃能力很差,基岩中的油气主要来源于上覆年轻烃源岩、基岩旁侧的烃源岩。中国海域含油气盆地主要发育陆相深湖和半深湖相泥岩、浅湖或湖沼相泥岩和煤层以及海陆过渡相的泥页岩3种烃源岩,总体上处于成熟-过成熟阶段<sup>[39]</sup>。目前已被证实的富烃凹陷主要有渤中、黄河口、惠州、涸西南、文昌、崖南、莺中以及白云等多个凹陷,这些富烃凹陷中优质烃源岩主要发育在古近系—新近系,具有层段多、厚度大、分布广的特点,为基岩圈闭中油气聚集奠定了丰富的物质来源基础。以渤中凹陷

为例,渤中凹陷是渤海海域内最大的生烃凹陷,古近系湖相优质烃源岩发育,并且以渤中凹陷为中心发育多个断裂潜山构造带,紧邻着主力生烃凹陷发育的基岩圈闭均具有形成基岩油气藏的物质条件。目前,已在渤中凹陷周边发现渤中19-6、渤中26-2及渤中28-1等多个大、中型基岩油气藏<sup>[7,40]</sup>。

### 4.2 长期的构造活动形成潜山地貌

基岩油气藏主要发育在板块构造活动强烈的区域<sup>[9,31]</sup>,原因在于基岩块体受到不同应力的影响,遭受强烈的挤压、碰撞等地质作用,导致基岩块体的相对隆升或下降,形成“凹中隆”,在正向地形上形成古潜山地貌,同时在负向地形中形成沉降中心,形成凹陷环绕、隆坳相间构造格局,具备良好的空间匹配关系。中国海域沉积盆地地处三大板块,其形成受控于三大板块的汇聚和离散等多种因素影响,经历了极其复杂的地质演化过程,为基岩潜山的形成创造了良好的地质条件<sup>[14]</sup>。盆地基岩潜山地貌的形成主要受印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动的影响<sup>[41-42]</sup>,尤其是印支运动与燕山运动两期重要的造山运动<sup>[43-44]</sup>,导致太古宇至中生代基底地层遭受不同程度构造破坏,隆起区基底地层遭受强烈的构造剥蚀作用。此后喜马拉雅运动使早期形成的基岩潜山再改造、定型,进而形成特征多样、形态各异的“山”型结构<sup>[45]</sup>,与上覆的新生代地层接触,形成基岩潜山。因此,多期次的挤压隆升、块断翘倾等构造作用<sup>[46]</sup>,易形成这种“山”型古地貌,为基岩油气藏的形成提供了有利的地质条件,使多种类型、多种岩性的基岩潜山发育。

### 4.3 长期的风化淋滤作用形成优质储层

优质储层是基岩能否成藏并富集的关键因素<sup>[47-48]</sup>。目前,海域基岩油气藏中已被证实的储层岩性主要为花岗岩、变质岩、碳酸盐岩以及碎屑岩。变质岩作为结晶岩,原生孔隙不发育,花岗岩和碳酸盐岩基质孔隙具有较差的孔渗条件,如若不经历后期的构造作用和岩溶作用的影响,很难形成优质的储层。中国边缘海经历了多期的构造运动,使基岩块体长期处于隆升背景,遭受强烈剥蚀、风化、淋滤等作用,形成厚层的风化壳和复杂的地下岩溶系统,导致基岩储集体中孔、洞大量发育,储层物性得到了很大的改善。如蓬莱9-1油气田,是目前发现规模最大潜山油气田,其花岗岩体经历了大约65 Ma的风化剥蚀,长时间的风化淋滤极大地提高了花岗岩的储集性能,为大型的花岗岩油气藏的



表 4 基岩油气藏综合分类示意图  
Table 4 Classification of bedrock hydrocarbon reservoirs

类型	示意图	典型油气田	典型地区分布
基岩顶部风化壳油气藏	侵蚀残丘型	蓬莱9-1油田	庙西北凸起、石白坨凸起、濶西南凹陷
	断垒型	渤中13油田	辽东凸起、莱北凸起、沙垒田凸起
	断块-断阶型	渤中8-4油田	黄河口凹陷、渤中凹陷
	构造残丘型	锦州25-1S油田	辽西凸起、石白坨凸起、埕北低凸起、沙垒田凸起
基岩内幕油气藏	断块型	渤中22气藏	渤南低凸起、辽东凸起、沙垒田凸起
	地层型	歧口17-9油田	歧口凹陷
	不规则状型	渤中19-6凝析气藏	渤南低凸起、渤中凹陷、濶西南凹陷

形成奠定了基础<sup>[49]</sup>。多元流体对风化壳和内幕裂缝储层发育起改造作用, 流体对内幕裂缝及充填物的溶蚀改造优化了早期缝网系统<sup>[39]</sup>。因此, 基岩潜山构造在漫长的地质演化过程中, 由于遭受长期的风化淋滤, 会在基岩顶部形成大量的溶蚀孔隙, 为优质储层的形成提供了条件。

#### 4.4 裂缝改造提高了储层质量

基岩潜山油气藏的储集性能主要受控于构造作用和风化淋滤作用形成的孔-缝结构, 其中基岩裂缝对于储层条件的改善有着至关重要的作用<sup>[50]</sup>。裂缝不仅能作为单独的储集空间, 还能起到沟通作用, 将缝、洞、孔连接起来形成统一的渗流空间, 为流体流动提供通道, 为后期的溶蚀作用提供了条件。一般情况下基岩油气藏储层孔隙度一般小于 10%, 多为 3%~6%, 因受裂缝或溶蚀孔缝因素的影

响, 渗透率会得到很好的改善<sup>[51]</sup>。裂缝分为风化裂缝和内幕裂缝, 风化裂缝主要与基岩顶部的风化淋滤作用有关, 内幕裂缝主要与构造活动有关<sup>[52]</sup>。基岩潜山暴露期风化淋滤作用随着埋深的增加, 对储层改造会逐渐失去影响, 因此基岩内部要形成有效的储层, 同时需要强烈构造作用形成的裂缝。中国海域沉积盆地在形成演化过程中受到加里东、印支、海西、燕山、喜马拉雅运动的多期构造运动的影响, 造成基岩受到长期风化剥蚀, 在顶部形成风化裂缝, 同时在挤压和伸展作用的交替影响下, 为基岩内部碎裂作用提供了动力。因此在风化淋滤作用和构造应力作用双重影响下, 在基岩高部位和内部形成多期互相切割的裂缝, 提高了储层内部的贯通性, 从而大大地改善基岩储层储集性能, 形成良好的储集层段。钻井揭示渤中 19-6 潜山储集体的缝网系统厚度超过 1000 m, 面积超过 500 km<sup>2</sup>, 有



效储层厚度占比为42%<sup>[7]</sup>,大大提升了潜山储层规模和性能。

#### 4.5 断层和不整合面形成良好的油气输导层

输导体系作为连接源储的通道,是油气聚集成藏中重要的一环<sup>[53]</sup>。基岩本身不能产生油气,外来油气需要通过输导体系运移到基岩圈闭中才能聚集成藏,不整合面和断层是重要的油气运移通道<sup>[54-55]</sup>。基岩油气藏属于新生古储型的源储关系,断层垂向连接是油气运移的重要通道,油源断层起到沟通烃源岩和圈闭的作用,在空间上的延伸控制着油气向上运移的最大距离,在一定程度上决定了油气在空间范围内成藏的规模。基岩顶部不整合面由于长期遭受风化淋滤作用,在不整合面上常有风化残余的碎屑、碎岩块、砂砾岩等,固结后常为孔隙性、渗透性较高的岩石,储层物性得到改善,成为油气侧向运移的有利区。

#### 4.6 区域性泥岩是良好的盖层

优质的盖层是基岩油气藏成藏的重要条件。基岩储集体一般呈厚层块状,良好的盖层条件是油气聚集成藏的关键因素,尤其是横向分布稳定的泥岩直接覆盖在基岩顶部,方能有效封盖住油气。中国东部大-中型基岩油气田之上都有平面分布稳定、厚度大(50~300 m)的纯泥岩盖层,这种泥岩形成于半-深湖环境<sup>[29]</sup>。渤海盆地古近系沙河街组-东营组为湖相沉积,泥岩厚,分布稳定,如锦州20-2、曹妃甸18-2、渤中26-2、渤中28-1等大-中型潜山油气藏盖层均是古近系湖相泥岩。在这些生油洼陷当中,生油岩和盖层为一体,巨厚的泥岩环抱着整个基岩潜山带,封盖条件良好,使基岩潜山具有先天成藏优势。

### 5 海域基岩油气藏勘探方向

中国海域地处三大板块汇聚处,构造活动强烈,发育强烈的岩浆活动带和区域变质带,为基岩潜山的形成创造了良好的地质条件。渤海、北黄海及南黄海盆地均是在元古代—古生代克拉通沉积地层基础上叠置发育的中—新生代陆相沉积盆地,经历了元古代—古生代地台、中生代—古近纪断陷和新近纪拗陷3个发育阶段,受后期印支运动与燕山运动两期造山作用的影响,形成了拗隆相间的构造格局,时空上拗隆发育的差异性控制了基底地层发育的多样性。东海海域盆地是在元古代变质岩

和中生代火山岩上发育的中—新生代叠合盆地,从晚三叠世开始就进入大陆边缘活动时期,受燕山期构造活动的强烈影响,致使基底地层遭受挤压作用形成低隆起,并遭受剥蚀,大部分低隆起在古新世末期才沉没于水下接受沉积,古近系直接覆盖在前古生代、古生代、中生代地层之上。南海作为在中生代陆缘背景上扩张而成的新生代边缘海,受板块汇聚、离散作用的影响,处于复杂的动力学背景下,基底受到强烈改造,基底地层在不同盆地各有差异。前震旦系—古生界沉积在南海分布比较广泛,上古生界地层仅分布在北部湾盆地,中生界火山岩在珠江口、琼东南盆地以及南海南部诸盆地分布较普遍。随着勘探技术和理论水平的不断提高,海域基岩油气藏勘探取得了重大突破,大大拓展了油气勘探领域<sup>[3]</sup>。近年来锦州南潜山油田和渤中19-6潜山大气田的发现揭示了海域基岩油气藏具有很好的勘探前景。本次在分析前人认识基础上,综合考虑盆地基底性质、盆地类型、富烃凹陷等,提出海域基岩油气藏的勘探方向,为指导下一步的海域油气勘探工作提供一定借鉴:

(1)渤海盆地是目前发现基岩油气藏最多的海域。该地区潜山地层发育,生储盖条件优越,具备形成大型基岩油气藏的物质基础。渤海盆地经历多次强烈构造作用的影响,形成了“洼中隆”构造格局,被多个烃源岩灶包围,形成“围裙状”的分布特点,接受多个烃源岩凹陷生成的油气,成为油气聚集的有利区。盆地中的残山是最有利的基岩圈闭,容易形成大、中型基岩油气田,主要围绕在富生烃凹陷或者分布在凸起倾没端的构造脊上。如渤海盆地渤中拗陷的基岩凸起以及内部构造脊,被烃源岩环绕,具备良好的储盖条件。目前已相继发现了蓬莱9-1、锦州20-2、锦州25-1S、曹妃甸1-6、曹妃甸18-1/2、渤中26-1、渤中19-6等油气藏,辽西、沙垒田、渤南、庙西、石白坨、辽东等凸起仍然是寻找基岩油气藏的重点区<sup>[3,6,56-57]</sup>。

(2)北黄海盆地与渤海盆地同属华北板块,具有相似的构造沉积特征,经历多期拉张,块断活动强烈,新生界常常直接沉积在古生界甚至元古界、太古界之上,因而潜山构造相对发育<sup>[58]</sup>。目前401井、611井等钻井已揭示前中生界基底,岩性主要为古生界碳酸盐岩和太古宇变质岩。因此,基岩油气藏勘探也是北黄海盆地重要的勘探方向之一,以寻找侵蚀残丘型和构造残丘型基岩顶部油气藏为主。

(3)南黄海盆地中新生代地层之下分布着广泛的上古生代海相地层。潜山地层由下构造层南华纪—

早中三叠世海相地层组成;盖层由晚白垩世—古近纪断陷湖相地层和新近纪—第四纪拗陷河流相及海陆交互相地层组成,平面上在烟台拗陷分布广泛,青岛拗陷局部洼陷分布。基岩油气藏的有利勘探区主要分布在烟台拗陷中的福山凸起及艾山凸起东部,青岛拗陷的灵山凸起和浮山凸起。这些凸起位于生烃凹陷内,古生界碳酸盐岩储层发育,白垩系、古近系阜宁组泥岩是优质盖层<sup>[6,59-60]</sup>。

(4)东海陆架盆地LF1井揭示320 m厚的变质岩,并获得油流,证明该地区潜山具有成藏条件。烃源岩主要以古近系碳质泥岩、泥岩及煤层为主。盖层为灵峰组泥岩、平湖组泥岩、花港组上段泥岩,平面上分布广泛,是一套优质区域性盖层。盆地内大部分低凸起经历了长期的风化、淋滤等作用,直到古新世末才接受沉积,形成盆地内的古潜山,具备良好的储盖条件。雁荡低凸起、台北低凸起、观音台凸起等地区是基岩油气藏的有利勘探区。

(5)近年来随着南海北部基岩潜山油气藏突破,古潜山已成为南海北部重要的勘探方向<sup>[26-27]</sup>。南海北部分布着广泛的残留特提斯沉积,发育大面积前古近系碳酸盐岩地层。目前,北部湾盆地涠西南凹陷钻探涠6-1、涠10-3N、涠10-4等碳酸盐岩古潜山构造,均获得高产油流。如涠洲A油田,储层厚度达250 m,单井产量高,日产原油高达一千多方<sup>[61]</sup>。北部湾盆地古生界碳酸盐岩勘探获得突破,预示着该领域具有良好的勘探前景。2014年越南在莺歌海盆地北部前古近系石灰岩储层连续获得突破,规模虽然不大,也是不能忽视的勘探领域。2019年以来在珠江口盆地惠州凹陷和琼东南盆地松南低凸起基岩油气藏连续获得突破,证实了该地区花岗岩油气藏的巨大勘探潜力。

(6)南海南部基岩油气藏勘探潜力区主要分布在中建南盆地和万安盆地。中建南盆地基岩主要为中生代花岗岩和变质岩,古新世全区隆升剥蚀,遭受强烈风化淋滤作用,基岩储层特性得到良好的改善。盖层主要为新近系区域性海相页岩。烃源岩为古近系湖相泥岩和煤层。越南已在万安盆地的花岗岩潜山钻获高产油气预示着该领域具有良好的勘探前景。万安盆地基岩油气藏储层主要为中生代破碎或风化花岗岩,烃源岩主要来自古近系煤系烃源岩,盖层为古近系海相泥页岩。

## 6 结论

(1)中国海域分布着广泛的前新生代地层,基

岩油气藏勘探潜力巨大,形成了包括渤海盆地、万安盆地等在内的富集基岩油气的裂陷盆地、走滑盆地。板块离散环境下形成包括北部湾盆地、琼东南盆地等在内的富集基岩油气的裂陷盆地。

(2)海域基岩油气藏具有结构多样、岩性多样、形态多样的复杂特征,以“位置-构造-油藏几何形状”为原则,将海域基岩油气藏类型划分为“2大类7小类”。在综合考虑海域基岩油气藏发育及分布特征基础上,探讨基岩油气藏形成的6大控制因素:①富烃凹陷提供充足的气源;②长期的构造活动形成潜山地貌;③长期的风化淋滤作用形成优质储层;④裂缝改造提高了储层质量;⑤断层和不整合面形成良好的油气输导层;⑥区域性泥岩是良好的盖层。

(3)中国海域地处三大板块汇聚处,构造活动强烈,发育强烈的岩浆活动带和区域变质带,为基岩潜山的形成创造了良好的地质条件。未来重点关注海域基岩油气藏的6大勘探方向:渤海盆地残山,辽西、沙垒田、渤南、庙西、石臼坨、辽东等凸起;北黄海盆地东部拗陷东北部局部凸起;南黄海盆地烟台拗陷中的福山凸起及艾山凸起东部,青岛拗陷的灵山凸起和浮山凸起;东海陆架盆地雁荡、台北等低凸起;南海北部北部湾盆地涠西南凹陷、珠江口盆地惠州凹陷和琼东南盆地松南低凸起;南海南部中建南盆地和万安盆地。

## 参考文献 (References)

- [1] 杨飞, 徐守余. 全球基岩油气藏分布及成藏规律[J]. 特种油气藏, 2011, 18(1): 7-11. [YANG Fei, XU Shouyu. Global distribution and hydrocarbon accumulation pattern of basement reservoirs [J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2011, 18(1): 7-11.]
- [2] 龚再升. 继续勘探中国近海盆地花岗岩储层油气藏[J]. 中国海上油气, 2010, 22(4): 213-220. [GONG Zaisheng. Continued exploration of granitic-reservoir hydrocarbon accumulations in China offshore basins [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2010, 22(4): 213-220.]
- [3] 施和生, 王清斌, 王军, 等. 渤中凹陷深层渤中19-6构造大型凝析气田的发现及勘探意义[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(1): 40-49. [SHI Hesheng, WANG Qingbin, WANG Jun, et al. Discovery and exploration significance of large condensate gas fields in BZ19-6 structure in deep Bozhong sag [J]. *China Petroleum Exploration*, 2019, 24(1): 40-49.]
- [4] 杨辉, 文百红, 张研, 等. 准噶尔盆地火山岩油气藏分布规律及区带目标优选——以陆东—五彩湾地区为例[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(4): 419-427. [YANG Hui, WEN Baihong, ZHANG Yan, et al. Distribution of hydrocarbon traps in volcanic rocks and optimization for selecting exploration prospects and targets in Junggar Basin: Case study in Ludong-Wucuiwan area, NW China [J]. *Petroleum*

- Exploration and Development, 2009, 36(4): 419-427.]
- [5] 李欣, 闫伟鹏, 崔周旗, 等. 渤海湾盆地潜山油气藏勘探潜力与方向[J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 140-144+152. [LI Xin, YAN Weipeng, CUI Zhouqi, et al. Prospecting potential and targets of buried-hill oil and gas reservoirs in Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 140-144+152.]
- [6] 陈建文, 梁杰, 张银国, 等. 中国海域油气资源潜力分析与黄东海海域油气资源调查进展[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(6): 1-29. [CHEN Jianwen, LIANG Jie, ZHANG Yinguo, et al. Regional evaluation of oil and gas resources in offshore China and exploration of marine Paleo-Mesozoic oil and gas in the Yellow Sea and East China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2019, 39(6): 1-29.]
- [7] 谢玉洪, 高阳东. 中国海油近期国内勘探进展与勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(1): 20-30. [XIE Yuhong, GAO Yangdong. Recent domestic exploration progress and direction of CNOOC [J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(1): 20-30.]
- [8] Walters R E. Oil production from fractured pre-Cambrian basement rocks in central Kansas [J]. AAPG Bull., 1953, 37(2): 300-313.
- [9] 吴伟涛, 高先志, 刘兴周, 等. 基岩油气藏的形成与分布[J]. 地质科技情报, 2014, 33(1): 106-113. [WU Weitao, GAO Xianzhi, LIU Xingzhou, et al. Formation and distribution of basement rock reservoir [J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33(1): 106-113.]
- [10] 陈发景, 李明诚. 基岩油藏的区域地质背景和特征[C]//中国石油学会石油地质专业委员会. 基岩油气藏. 北京: 石油工业出版社, 1987: 15-22. [CHEN Fajing, LI Mingcheng. Regional geological background and characteristics of basement rock reservoirs[C] // Petroleum Geology Professional Committee of China Petroleum Institute. Basement Rock Reservoirs. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987: 15-22.]
- [11] 甘克文. 基岩油藏的成因和分布与盆地的关系[C]//中国石油学会石油地质专业委员会. 基岩油气藏. 北京: 石油工业出版社, 1987: 23-31. [GAN Kewen. Relationship between genesis and distribution of basement rock reservoirs and basin[C] // Petroleum Geology Professional Committee of China Petroleum Institute. Basement Rock Reservoirs. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987: 23-31.]
- [12] 任丽华, 林承焰, 刘菊, 等. 海拉尔盆地苏德尔特构造带布达特群碎屑岩潜山油藏类型划分[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2007, 31(2): 9-12. [REN Lihua, LIN Chengxian, LIU Ju, et al. Classification of reservoir types of Budate group in clastic buried hills of Sudeerte structural zone, Hailaer Basin [J]. Journal of China University of Petroleum, 2007, 31(2): 9-12.]
- [13] 何君, 韩剑发, 潘文庆. 轮南古隆起奥陶系潜山油气成藏机理[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 44-48. [HE Jun, HAN Jianfa, PAN Wenqing. Hydrocarbon accumulation mechanism in the giant buried hill of Ordovician in Lunnan paleohigh of Tarim Basin [J]. Acta Petroleologica Sinica, 2007, 28(2): 44-48.]
- [14] 朱伟林, 吴景富, 张功成, 等. 中国近海新生代盆地构造差异性演化及油气勘探方向[J]. 地学前缘, 2015, 22(1): 88-101. [ZHU Weilin, WU Jingfu, ZHANG Gongcheng, et al. Discrepancy tectonic evolution and petroleum exploration in China offshore Cenozoic basins [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(1): 88-101.]
- [15] 吴庆勋, 高坤顺, 吴昊明, 等. 渤海海域前新生代基底特征及其油气勘探意义[J]. 现代地质, 2019, 33(4): 802-810. [WU Qingxun, GAO Kunshun, WU Haoming, et al. Characteristics of Pre-Cenozoic basement in bohai sea and its significance in oil and gas exploration [J]. Geoscience, 2019, 33(4): 802-810.]
- [16] 杨传胜, 李刚, 杨长清, 等. 东海陆架盆地及其邻域岩浆岩时空分布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3): 125-133. [YANG Chuansheng, LI Gang, YANG Changqing, et al. Temporal and Spatial distribution of the igneous rocks in the east China Sea Shelf Basin and its adjacent regions [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(3): 125-133.]
- [17] 徐发, 张建培, 张田, 等. 中国近海主要大中型含油气盆地形成条件类比研究[J]. 海洋石油, 2012, 32(3): 1-8. [XU Fa, ZHANG Jianpei, ZHANG Tian, et al. Comparison of the geologic conditions for forming of the main offshore petroliferous basins in china [J]. Offshore Oil, 2012, 32(3): 1-8.]
- [18] 李伍志, 王璞珺, 张功成, 等. 珠江口盆地深部基底地层的震时深转换研究[J]. 地球物理学报, 2011, 54(2): 449-456. [LI Wuzhi, WANG Pujun, ZHANG Gongcheng, et al. Researches on time-depth conversion of deep-seated basal strata of Pearl River Mouth Basin [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(2): 449-456.]
- [19] 尤龙, 王璞珺, 吴景富, 等. 莺歌海盆地前新生代基底特征[J]. 世界地质, 2014, 33(3): 511-523. [YOU Long, WANG Pujun, WU Jingfu, et al. Basement characteristics of Yinggehai Basin in Pre-Cenozoic [J]. Global Geology, 2014, 33(3): 511-523.]
- [20] 刘兵, 吴世敏, 龙根元, 等. 琼东南盆地基底特征及其构造演化[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(4): 1465-1475. [LIU Bing, WU Shimin, LONG Genyuan, et al. Basement characteristics and tectonic evolution in Qindongnan Basin [J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(4): 1465-1475.]
- [21] 董贺平, 肖国林, 何书峰, 等. 中国海域油气勘探开发数据库与形势图成果结题报告[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2016. [DONG Heping, XIAO Guolin, HE Shufeng. Completion report of oil and gas exploration and development database and situation map in China Sea[R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2016.]
- [22] 徐长贵, 侯明才, 王粤川, 等. 渤海海域前古近系深层潜山类型及其成因[J]. 天然气工业, 2019, 39(1): 21-32. [XU Changgui, HOU Mingcai, WANG Yuechuan, et al. Type and genesis of Pre-Tertiary deep buried hills in the Bohai Sea area [J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(1): 21-32.]
- [23] 纪友亮, 杜金虎, 邹伟宏, 等. 渤海湾盆地剥蚀量恢复中的综合分析法[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2004, 32(5): 617-621. [JI Youliang, DU Jinhui, ZOU Weihong, et al. Application of synthetical analysis method for seeking eroded strata thickness of Mesozoic in Bohai Bay Basin [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2004, 32(5): 617-621.]
- [24] 刘长江, 桑树勋, 陈世悦, 等. 渤海湾盆地石炭—二叠纪沉积作用与储层形成[J]. 天然气工业, 2008, 28(4): 22-25. [LIU Changjiang, SANG Shuxun, CHEN Shiyue, et al. Permo-Carboniferous sedimentation and reservoiring in the Bohai Bay Basin [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(4): 22-25.]
- [25] 邓运华. 渤海大中型潜山油气田形成机理与勘探实践[J]. 石油学报,



- 2015, 36(3): 253-261. [DENG Yunhua. Formation mechanism and exploration practice of large-medium buried-hill oil fields in Bohai Sea [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2015, 36(3): 253-261.]
- [26] 罗伟, 蔡俊杰, 万琼华, 等. 惠州凹陷花岗岩潜山储层条件分析及石油地质意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(4): 126-135. [LUO Wei, CAI Junjie, WANG Qionghua, et al. Reservoir condition analysis of a buried granite hill in the Huizhou Depression and its petroleum geological significance [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2019, 39(4): 126-135.]
- [27] 田立新, 施和生, 刘杰, 等. 珠江口盆地惠州凹陷新领域勘探重大发现及意义[J]. *中国石油勘探*, 2020, 25(4): 22-30. [TIAN Lixin, SHI Hesheng, LIU Jie, et al. Great discovery and significance of new frontier exploration in Huizhou sag, Pearl River Mouth Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2020, 25(4): 22-30.]
- [28] 周心怀, 项华, 于水, 等. 渤海锦州南变质岩潜山油藏储集层特征与发育控制因素[J]. *石油勘探与开发*, 2005(6): 17-20. [ZHOU Xinhui, XIANG Hua, YU Shui, et al. Reservoir characteristics and development controlling factors of JZS Neo-Archean metamorphic buried hill oil pool in Bohai Sea [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005(6): 17-20.]
- [29] 孟卫工, 李晓光, 刘宝鸿. 辽河拗陷变质岩古潜山内幕油藏形成主控因素分析[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(5): 584-589. [MENG Weigong, LI Xiaoguang, LIU Baohong. Main factors controlling the formation of interior reservoirs in the metamorphic palaeo-buried hills of the Liaohe Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(5): 584-589.]
- [30] 邓运华, 彭文绪. 渤海锦州25-1S混合花岗岩潜山大油气田的发现[J]. *中国海上油气*, 2009, 21(3): 145-150. [DENG Yunhua, PENG Wenxu. Discovering large buried-hill oil and gas fields of migmatitic granite in Jinzhou 25-1S in Bohai sea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2009, 21(3): 145-150.]
- [31] 谢文彦, 孟卫工, 李晓光, 等. 辽河拗陷基岩油气藏[M]. 石油工业出版社, 2012. [XIE Wenyuan, MENG Weigong, LI Xiaoguang, et al. Reservoirs in Liaohe Depression[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012.]
- [32] 降栓奇, 陈彦君, 赵志刚, 等. 二连盆地潜山成藏条件及油藏类型[J]. *岩性油气藏*, 2009, 21(4): 22-27. [JIANG Shuanqi, CHEN Yanjun, ZHAO Zhigang, et al. Reservoir accumulation conditions and patterns of buried hill in Erlian Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2009, 21(4): 22-27.]
- [33] 陈文玲, 周文. 含油气盆地重要勘探领域——基岩油气藏[J]. *西南石油大学学报: 自然科学版*, 2012, 34(5): 17-24. [CHEN Wenling, ZHOU Wen. Important exploration areas in petroliferous basins the basement hydrocarbon reservoirs [J]. *Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition*, 2012, 34(5): 17-24.]
- [34] 伍友佳, 刘达林. 中国变质岩火山岩油气藏类型及特征[J]. *西南石油学院学报*, 2004, 26(4): 1-4. [WU Youjia, LIU Dalin. The reservoir type and characterization of metamorphic and volcanic rock of China [J]. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, 2004, 26(4): 1-4.]
- [35] 赵贤正, 吴兆徽, 闫宝义, 等. 冀中拗陷潜山内幕油气藏类型与分布规律[J]. *新疆石油地质*, 2010, 31(1): 4-6. [ZHAO Xianzheng, WU Zhaohui, YAN Baoyi, et al. Distribution and types of buried hill oil-gas reservoir in Jizhong Depression [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2010, 31(1): 4-6.]
- [36] 赵树栋. 任丘碳酸盐岩油藏[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. [ZHAO Shudong. The Carbonate Reservoirs In Renqiu Oilfield[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.]
- [37] 郑荣才, 胡诚, 董霞. 辽西凹陷古潜山内幕结构与成藏条件分析[J]. *岩性油气藏*, 2009, 12(4): 10-18. [ZHENG Rongcai, HU Cheng, DONG Xia, et al. Analysis of internal structure and reservoir-forming conditions of palaeo-buried hill, Western Liaohe Sag [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2009, 12(4): 10-18.]
- [38] 潘钟祥. 潘钟祥石油地质文选[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989. [PAN Zhongxiang. Selected Works of Pan Zhongxiang's Petroleum Geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989.]
- [39] 李友川, 邓运华, 张功成. 中国近海海域烃源岩和油气的分带性[J]. *中国海上油气*, 2012, 24(1): 6-12. [LI Youchuan, DENG Yunhua, ZHANG Gongcheng. Zoned distribution of source rocks and hydrocarbon offshore China [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2012, 24(1): 6-12.]
- [40] 薛永安, 韦阿娟, 彭靖淞, 等. 渤海湾盆地渤海海域大中型油田成藏模式和规律[J]. *中国海上油气*, 2016, 28(3): 10-19. [XUE Yongan, WEI Ajuan, PENG Jingsong, et al. Accumulation models and regularities of large-middle scale oilfields in Bohai Sea, Bohai Bay Basin [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2016, 28(3): 10-19.]
- [41] 肖述光, 吕丁友, 侯明才, 等. 渤海海域西南部中生代构造演化过程与潜山形成机制[J]. *天然气工业*, 2019, 39(5): 34-44. [XIAO Shuguang, LV Dingyou, HOU Mingcai, et al. Mesozoic tectonic evolution and buried hill formation mechanism in the southwestern Bohai Sea [J]. *Natural Gas Industry*, 2019, 39(5): 34-44.]
- [42] 赵顺兰, 赵亚卓, 杨希冰, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷碳酸盐岩潜山储层特征与主控因素分析[J]. *海洋学报*, 2018, 40(9): 43-53. [ZHAO Shunlan, ZHAO Yazhuo, YANG Xibing, et al. An analysis on the characteristics and main controlling factors of reservoir in carbonate buried hill in the Weixi'nan Sag, Beibuwan Basin [J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(9): 43-53.]
- [43] 周建生, 杨长春. 渤海湾地区前第三系构造样式分布特征研究[J]. *地球物理学进展*, 2007, 22(5): 1416-1426. [ZHOU Jiansheng, YANG Changchun. A study of pre-tertiary structural characteristics and evolution in the Bohai bay region [J]. *Progress in Geophysics*, 2007, 22(5): 1416-1426.]
- [44] 漆家福, 张一伟, 陆克政, 等. 渤海湾盆地新生代构造演化[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 1995, 19(S1): 1-6. [QI Jiafu, ZHANG Yiwei, LU Kezheng, et al. Cenozoic Tectonic evolution in Bohai Bay Basin province [J]. *Journal of the University of Petroleum, China*, 1995, 19(S1): 1-6.]
- [45] 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 (Edition of Natural Science)*, 2015, 39(3): 20-29.]
- [46] 何家雄, 张伟, 颜文, 等. 中国近海盆地幕式构造演化及成盆类型与



- 油气富集规律[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(2): 121-134. [HE Jiexiong, ZHANG Wei, YAN Wen, et al. Episodic tectonic evolution, basin types and hydrocarbon accumulation in Chinese marginal basins [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2014, 34(2): 121-134.]
- [47] 赵贤正, 王权, 金凤鸣, 等. 冀中坳陷隐蔽型潜山油气藏主控因素与勘探实践[J]. 石油学报, 2012, 33(S1): 71-79. [ZHAO Xianzheng, WANG Quan, JIN Fengming, et al. Main controlling factors and exploration practice of subtle buried-hill hydrocarbon reservoir in Jizhong depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(S1): 71-79.]
- [48] 王拥军, 张宝民, 王政军, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷奥陶系潜山油气地质特征与成藏主控因素[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(1): 51-59. [WANG Yongjun, ZHANG Baomin, WANG Zhengjun, et al. Geological characteristics of Ordovician buried hill and main factors of oil/ gas accumulation in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin, China [J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(1): 51-59.]
- [49] 夏庆龙, 周心怀, 王昕, 等. 渤海蓬莱9-1大型复合油田地质特征与发现意义[J]. 石油学报, 2013, 34(S2): 15-23. [XIA Qinglong, ZHOU Xinhui, WANG Xin, et al. Geological characteristics and discovery significance of large scale and compound oilfield of Penglai 9-1 in Bohai [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(S2): 15-23.]
- [50] Anirbid Sircar. Hydrocarb on production from fractured basement formations [J]. Current Science, 2004, 87(2): 147-15.
- [51] 陈更新, 王建功, 杜斌山, 等. 柴达木盆地尖北地区裂缝性基岩气藏储层特征[J]. 岩性油气藏, 2020, 32(4): 36-47. [CHEN Gengxin, WANG Jianguo, DU Binshan, et al. Characteristics of fractured bedrock gas reservoir in Jianbei gas field, Qaidam Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2020, 32(4): 36-47.]
- [52] 李尧, 张笑桀, 刘恭利, 等. 渤海油田渤中A构造太古宙潜山裂缝储层预测[J]. 物探与化探, 2021, 45(1): 37-45. [LI Yao, ZHANG Xiaojie, LIU Gongli, et al. The prediction of Archean buried hill fracture reservoir in BZ-A structure of the Bohai oilfield [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(1): 37-45.]
- [53] 刘华, 蒋有录, 陈涛. 东营凹陷辛东地区有效输导体系及成藏模式[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(4): 13-18. [Liu Hua, Jiang Youlu, Chen Tao. Effective migration pathways and Pool form model of Xindong area in Dongying Depression [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2008, 32(4): 13-18.]
- [54] 何登发. 不整合面的结构与油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 142-149+201. [HE Dengfa. Structure of unconformity and its control on hydrocarbon accumulation [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(2): 142-149+201.]
- [55] 吴孔友, 邹才能, 查明, 等. 不整合结构对地层油气藏形成的控制作用研究[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(4): 518-524. [WU Kongyou, ZHOU Caineng, CHA Ming, et al. Controls of unconformity on the formation of stratigraphic reservoirs [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(4): 518-524.]
- [56] 王建强, 赵青芳, 董贺平, 等. 海域油气勘探开发形势分析与战略研究成果报告[R]. 青岛海洋地质研究所, 2019. [WANG Jiangqiang, ZHAO Qingfang, DONG Heping, et al. Analysis of oil and gas exploration and development situation in offshore and report on strategic research results[R]. Qingdao Institute of Marine Geology, 2019.]
- [57] Hu S Y, Wu H, Liang X J, et al. A preliminary study on the eco-environmental geological issue of in-situ oil shale mining by a physical model [J]. Chemosphere, 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131987.
- [58] 何将启, 梁世友, 赵永强, 等. 北黄海盆地地质构造特征及其在油气勘探中的意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(2): 101-105. [HE Jiangqi, LIANG Shiyu, ZHAO Yongqiang, et al. Characteristics of geologic structures of the North Yellow Sea Basin: implications for petroleum explorations [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(2): 101-105.]
- [59] 张鹏辉, 梁杰, 陈建文, 等. 中国叠合盆地深部海相地层油气保存条件剖析[J]. 海洋地质前沿, 2019, 35(1): 1-11. [ZHANG Penghui, LIANG Jie, CHEN Jianwen, et al. Hydrocarbon preservation analysis for marine strata in superimposed basins of China [J]. Marine Geology Frontiers, 2019, 35(1): 1-11.]
- [60] 肖国林, 董贺平, 杨长清, 等. 我国近海非常规油气资源勘探态势及其地质有利性[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(7): 73-76. [XIAO Guolin, DONG Heping, YANG Changqing, et al. Exploration status and geological advantages of unconventional oil and gas resources in China Offshore [J]. Marine Geology Frontiers, 2020, 36(7): 73-76.]
- [61] 徐守立, 尤丽, 代龙, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷灰岩潜山储层特征及分布规律[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(1): 94-103. [XU Shouli, YOU Li, DAI Long, et al. Characteristics of limestone buried-hills and their distribution in the Weixinan Depression of the Beibu Gulf Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2020, 40(1): 94-103.]