

海相碳酸盐岩大中型油气田成藏体系及分布特征

王大鹏^{1,2}, 陆红梅³, 陈小亮^{1,2}, 陶崇智³, 孟祥军⁴, 牛新杰⁵, 白国平^{1,2}

[1. 中国石油大学(北京) 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油大学(北京) 地球科学学院, 北京 102249; 3. 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083; 4. 中国石油 大庆油田分公司 钻探工程公司 钻井三公司, 黑龙江 大庆 163413; 5. 中国石油 华北油田分公司, 河北 任丘 062552]

摘要: 基于全球 53 个海相碳酸盐岩含油气盆地 199 个大中型油气田的最新资料, 根据油气成藏体系理论的分析原则, 将成藏体系的“源-位”分类方案应用于海相碳酸盐岩大中型油气田, 统计分析这些油气田中单源一位、单源二位、单源三位、二源二位、二源三位和三源三位 6 类成藏体系类型油气田的分布和储量特征, 厘定海相碳酸盐岩盆地油气富集的主要成藏体系类型, 揭示其对海相碳酸盐岩盆地油气富集的控制作用。结果表明, 海相碳酸盐岩大中型油气田中最主要、最普遍的成藏体系类型为单源三位, 这类成藏体系富集的油气储量最多, 其次为单源二位和二源三位, 而归属于其它成藏体系类型的油气田储量不大, 个数亦相对较少, 分布也较为分散。单源二位是最优越的成藏体系, 具有规模性的成藏效应, 但后期需较好的保存条件。此外, 单源一位更多地表现为非常规性质, 成藏体系的三大要素集于同一套岩层, 但这种成藏体系在海相碳酸盐岩层系中发现的最少。

关键词: 油气分布; 油气成藏体系; 海相碳酸盐岩; 含油气盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Petroleum accumulation systems and distribution of medium to large marine carbonate fields

Wang Dapeng^{1,2}, Lu Hongmei³, Chen Xiaoliang^{1,2}, Tao Chongzhi³, Meng Xiangjun⁴, Niu Xinjie⁵, Bai Guoping^{1,2}

[1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 2. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 3. Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China; 4. No. 3 Drilling Company of Daqing Drilling Engineering Company, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163413, China; 5. PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China]

Abstract: A classification of petroleum accumulation systems (PAS) of marine carbonate fields was attempted by using the latest data of 199 medium to large marine carbonate fields from 53 petroliferous basins around the world and a “source-element” classification scheme. The result shows that PAS of the fields can be categorized into six types: one source-one element, one source-two elements, one source-three elements, two sources-two elements, two sources-three elements and three sources-three elements. The distribution patterns and characteristics of petroleum reserves for each of the 6 types of PAS were investigated and the dominate types with high hydrocarbon richness in marine carbonate petroliferous basins were identified, and their controls on hydrocarbon enrichment were revealed. Statistical analytical results show that one source-three elements PAS not only hosts the largest share of petroleum reserves but also occurs the most widely. It is followed by one source-two elements and two sources-three elements PAS. For other types of PAS, both the reserves and the numbers of occurrence are relatively small. One source-two element PAS is the most promising among all the types but it requires more favorable later preserving conditions. One-source-one element PAS presents itself mostly as unconventional reservoirs but is rarely found in marine carbonate rocks.

Key words: oil and gas distribution, petroleum accumulation system, marine carbonate, petroliferous basin

海相碳酸盐岩层系一直是全球油气勘探的重要领域, 进入 21 世纪, 海相碳酸盐岩大中型油气田仍是全球新增储量的主要领域^[1]。目前, 我国的塔里木盆地、四川

盆地和鄂尔多斯盆地等海相碳酸盐岩层系内都已发现了多个大中型油气田[大中型油气田指探明和控制(2P)可采储量超过 6.8×10^6 t 油当量的油气田], 表明

收稿日期: 2014-12-17; 修订日期: 2016-01-11。

第一作者简介: 王大鹏(1984—), 男, 博士研究生, 油气地质。E-mail: kongshi41118@126.com。

通讯作者简介: 白国平(1963—), 男, 教授、博士生导师, 油气地质。E-mail: baigp@cup.edu.cn。

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05031-001-010HZ)。

我国海相碳酸盐岩盆地有着良好的勘探前景。油气成藏体系是地下油气成藏的自然体系,包括形成油气藏的一切必要元素(要素),如烃源岩(含烃/流体)、输导体系和圈闭以及这些要素之间有效的配置结构^[2]。油气成藏体系是针对中国叠合盆地的油气系统研究提出的,是含油气系统的进一步发展,同样适用于海相碳酸盐岩盆地油气田^[3-10]。但不同学者对成藏体系有不同的理解,其本质和内涵与本文中的成藏体系有所差异^[11-14]。本文的研究目的为:基于 IHS^[15] 和 USGS^[16-17] 全球 53 个海相碳酸盐岩盆地 199 大中型油气田成藏体系的研究和统计分析,探讨海相碳酸盐岩层系油气成藏体系“源一位”结构类型,定量表征不同类型成藏体系的宏观分布特征,并简析海相碳酸盐岩层系油气富集和分布规律。

1 全球海相碳酸盐岩层系油气分布

1.1 油气资源概况

全球共有 389 个发现商业油气田的含油气盆地,其中在 208 个盆地内的海相碳酸盐岩层系内发现了油气田(藏)。截至 2013 年底,全球已发现的石油、天然气和凝析油 2P 可采储量分别为 $3\,534 \times 10^8 \text{ t}$ 、 $327 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 和 $224 \times 10^8 \text{ t}$,折合成油当量为 $6\,383 \times 10^8 \text{ t}$ 。其中海相碳酸盐岩层系的石油、天然气和凝析油 2P 可采储量分别为 $1\,296 \times 10^8 \text{ t}$ 、 $120 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 和 $122 \times 10^8 \text{ t}$,折合成油当量为 $2\,382 \times 10^8 \text{ t}$ 。海相碳酸盐岩层系石油、天然气和凝析油的可采储量分别占全球已发现油气总量的 36.7%、36.7% 和 54.5%,按油当量计算,占总量的 37.3%。油气主要富集于中东、前苏联、北美和亚太四个油气区(表 1)。

表 1 全球海相碳酸盐岩油气 2P 可采储量

(据文献[15-17])

Table 1 Summary of the proved plus probable (2P) recoverable reserves of marine carbonates in the world

油气区	石油 2P 储量/ (10^8 t)	天然气 2P 储量/(10^{12} m^3)	凝析油 2P 储量/ (10^8 t)	折合成 油当量/ (10^8 t)
中东	1 006	82	101	1 766
前苏联	95	20	14	270
北美	92	4	0	124
亚太	25	9	4	101
非洲	42	2	1	59
中南美	17	1	1	26
欧洲	19	2	1	36
总计	1 296	120	122	2 382

注:1 245 m^3 天然气相当于 1 t 石油。

1.2 盆地分布

在全球 208 个海相碳酸盐岩含油气盆地中,119 个盆地油气 2P 可采储量超过了 $6.8 \times 10^6 \text{ t}$ 油当量,其中最富集的三大盆地为阿拉伯盆地($1\,386 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量)、扎格罗斯盆地($362 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量)和滨里海盆地($91 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量),合计占全球海相碳酸盐岩油气 2P 总可采储量的 77.3%。在阿拉伯盆地,发现了目前世界最大的超巨型气田和油田,即诺斯(North)气田和盖瓦尔(Ghawar)油田。

为了分析全球海相碳酸盐岩层系油气田发育的盆地类型,基于海相油气勘探实践分析油气聚集的需要,根据 Mann 等的含油气盆地分类方案^[18],本文将海相碳酸盐岩含油气盆地划分为 7 种类型:被动陆缘盆地、大陆裂谷盆地、前陆盆地、克拉通盆地、弧前盆地、弧后盆地和走滑盆地。52 个海相碳酸盐岩含油气盆地划归为被动陆缘盆地,67 个划归为前陆盆地,48 个划归为裂谷盆地,这三类盆地是海相碳酸盐岩层系油气最富集的盆地类型,它们分别聚集了全球海相碳酸盐岩油气 2P 总可采储量的 68.1%、22.9% 和 7.5%。克拉通盆地(15 个)、弧后盆地(5 个)、走滑盆地(9 个)和弧前盆地(12 个)内发现的油气 2P 可采储量仅占全球总量的 1.5%(图 1)。

2 油气成藏体系概念及结构分类

2.1 油气成藏体系概念及划分

针对中国含油气盆地多期成盆、多期改造、烃源岩多期生排烃和多期成藏等特殊性质,含油系统的概念难以应用,金之钧等提出了油气成藏体系的概念及其分类原则^[2,4]。成藏体系是地表以下油气成藏的自然体系,包括形成油气藏的一切必要元素(要素),如烃源岩(含烃/流体)、输导体系和圈闭以及这些要素之间有效的配置结构。根据油气成藏体系的

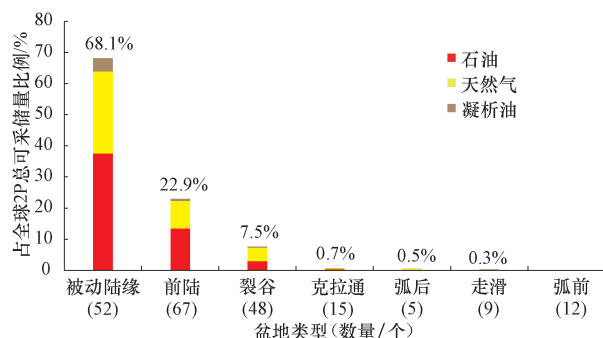


图 1 不同盆地类型海相碳酸盐岩油气 2P 可采储量分布

Fig. 1 Proved plus probable recoverable oil and gas reserves of marine carbonates with basin types in the world

定义,它由烃源岩、输导体系和圈闭三大要素匹配组合构成,将三个要素的属性特征以“元”来表征,将系统所产生的功能效应以“体”来表征。如果同时将元素的匹配与系统的结构特征以“位”来表征,那么这种对油气成藏体系的属性特征和功能效应的“三元一体”研究就具体表现为“源位匹配”的思维方法,从而可以从结构特征上将油气成藏体系划分为不同的类型。

2.2 油气成藏体系结构分类

在油气成藏体系研究中,烃源岩是物质基础,其产生的流体油气是三大要素联系的纽带,也是成藏体系研究的核心内容。油气田中油气的分布体现了成藏体系的动态演化及三大要素在地质历史过程中相互配置。根据烃源岩存在和发育情况,油气成藏体系可以有单源型和多源型,其中多源又可分为二源和三源及其以上等类型。同时考虑到三大要素以不同方式的匹配组合关系,油气成藏体系又有一位、二位和三位的特征,最终可以将油气成藏体系划分为单源一位、单源二位、单源三位、二源二位、二源三位和三源三位6类成藏体系^[2](图2)。

一位类型宏观总体上反映油气成藏体系中源储一体的性质,烃源岩产生的油气未经过输导体系运移直接储集于储集层中,只有单源一位成藏体系一种类型,油气藏类型更多表现为非常规性质,如页岩气成藏体系、致密油成藏体系等。二位类型反应油气成藏体系中源储相连相通的特征,烃源岩与圈闭在空间上彼此上下叠合或水平相邻,烃源岩与上覆或下伏的储集层紧密相邻,具体可划分为新生古储和古生新储两种类型。三位类型反应油气成藏体系中三大元素空间上相互独立,功能上相互匹配,烃源岩产生的油气经过输导体系的运移最终储集在圈闭之中。

3 全球海相碳酸盐岩盆地油气田成藏体系分布特征

本研究统计分析全球53个海相碳酸盐岩含油

气盆地199个大中型油气田的成藏体系结构类型(图3),结果表明最普遍的成藏体系类型是单源三位,123个油气田归属于这种成藏体系,储量也最大,占到大中型油气田总可采油气储量的51.7%。其次是单源二位和二源三位,油气田个数分别为41个和22个,储量占到总量的37.4%和8.4%(图4)。

3.1 单源型

3.1.1 单源一位

由于海相碳酸盐岩盆地沉积中心往往不是沉降中心,其中表现为非常规性质特征的单源一位成藏体系的油气田很少,必须具备比较稳定的构造沉积环境和成藏条件,具有自生自储特征。位于威利斯顿盆地蒙大拿州东北部 Elm Coulee 油田的烃源岩和储集层都发育于泥盆系一下石炭统 Bakken 组,烃源岩为沉积于缺氧条件、干酪根以无定形为主、富含有机质的上段页岩。中段主要由形成于快速海退环境的粉砂质白云岩组成,构成了储集层,其埋深2 593~3 203 m,厚3.1~12.2 m,孔隙度为3.0%~9.0%,平均渗透率为 $0.04 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ^[19]。Bakken 组的油气藏没有明显的油水界面,异常压力普遍存在,地质储量大,采收率低,低孔低渗特征明显,属连续型致密油藏^[20],由于源储一体,故将 Elm Coulee 油田划分为单源一位成藏体系(图5a)^[21-23]。

3.1.2 单源二位

按个数统计,归属于单源二位成藏体系的油气田主要分布于中东的阿拉伯盆地、阿曼盆地和北美的二叠盆地与墨西哥湾盆地。其中,阿拉伯盆地内该类型的油气田最多,个数达14个。不过按储量统计,最富集的盆地是阿拉伯盆地和巴拉望盆地,其油气储量分别占单源二位成藏体系油气总储量的86.0%和9.7%。其次是二叠盆地、阿曼盆地和墨西哥湾盆地(图3)。单源二位成藏体系的油气田的储集层主要为滩坝颗粒灰岩和生物礁,圈闭类型以构造圈闭和地层圈闭为主。源储关系上,单源二位以古生新储为主,新生古储的油气田个数较少。二叠盆地的 Puckett 气田是新生古储单源二位成藏体系的一个典型实例代表。其烃源岩是中奥陶统辛普森组沉积于海侵条件下的陆相黑色页岩,储集层是紧邻烃源层之下的下奥陶统的 Ellenburger 组白云岩^[24](图5b)。单源二位成藏体系的油气田多分布于生烃灶内,以垂向运移为主。单源二位成藏体系油气田的烃源岩一般发育于内陆架厌氧环境,储集层由生物礁复合体或高能滩坝相组成。

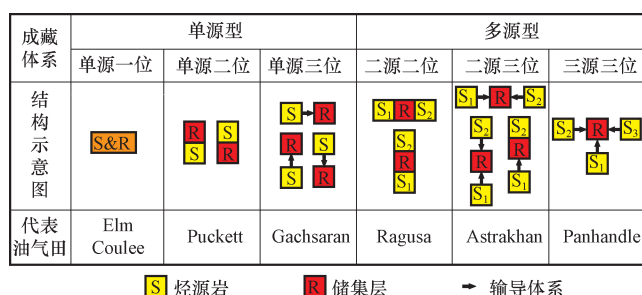


图2 油气成藏体系结构分类(据文献[2],修改)

Fig. 2 Structure classification of petroleum accumulation systems

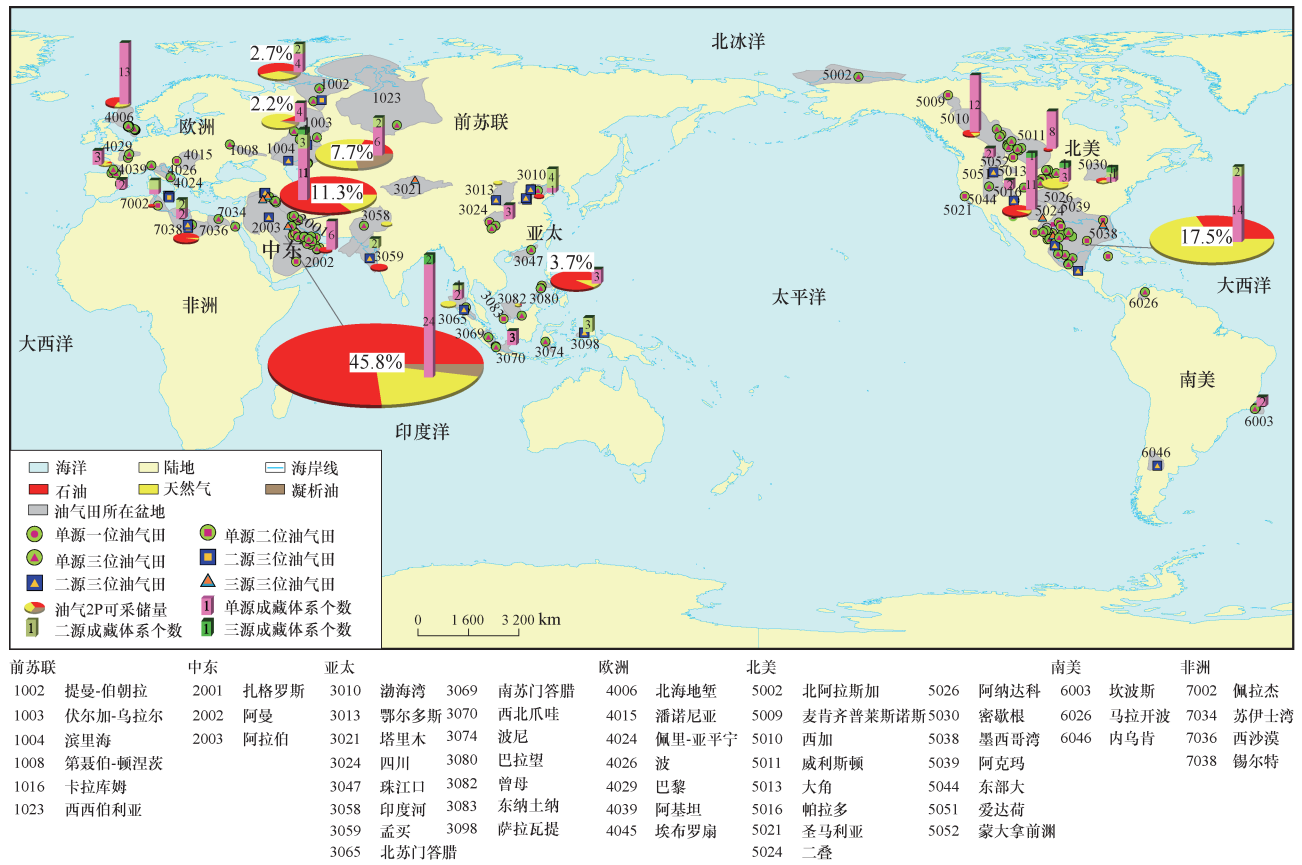


图 3 全球典型海相碳酸盐岩盆地油气成藏体系结构与储量分布

Fig. 3 Petroleum accumulation system and reserve distribution map of marine carbonates of dominant petroliferous basins in the world

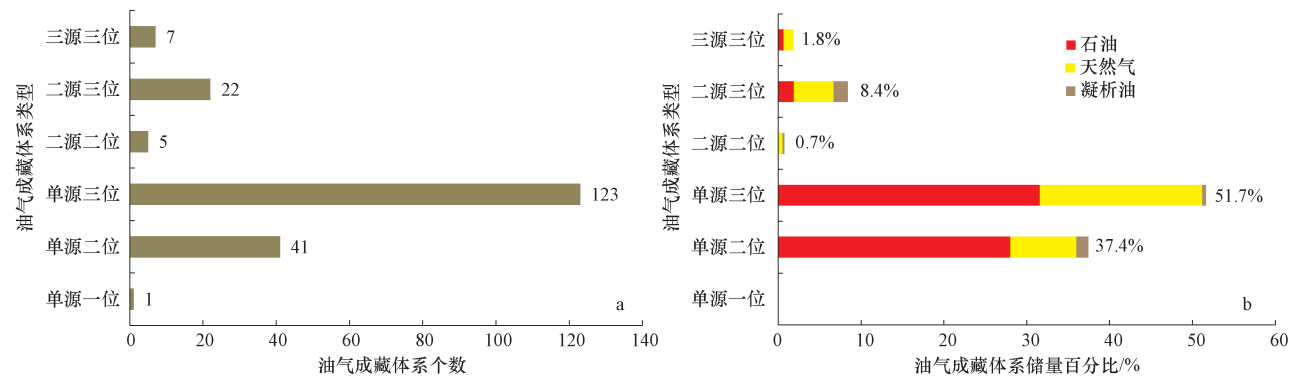


图 4 不同油气成藏体系结构个数和储量占总储量百分比

Fig. 4 Numbers and reserve proportions of different petroleum accumulation systems

3.1.3 单源三位

单源三位成藏体系内的烃源岩、输导体系 and 圈闭三要素之间既相互独立又相互联系(图 2),这类成藏体系分布最广泛,储量亦最多。区域上,发育这类成藏体系的油气田主要分布于北美、中东、欧洲和前苏联,油气田个数分别为 42,25,21 和 15 个。油气储量最富集的盆地是墨西哥湾盆地、扎格罗斯盆地、阿曼盆地、提曼—伯朝拉盆地和滨里海盆地,分别占单源三位成

藏体系油气总可采储量的 29.8%,24.2%,22.5%,7.2%和 5.3%。盆地类型上,油气田主要分布在前陆盆地(54 个)、裂谷盆地(32 个)和被动陆缘盆地(27 个)。油气储量上,最富集的盆地类型是被动陆缘盆地、前陆盆地和裂谷盆地,分别占单源三位成藏体系油气总可采储量的 59.0%,34.0%和 6.6%,其它类型盆地储量不足 0.5%(图 6)。中东地区扎格罗斯盆地的 Gachsaran 油田是单源三位成藏体系的典型实例代表,其烃源岩为下白垩统 Kazhdumi 组,油气通过裂缝垂向

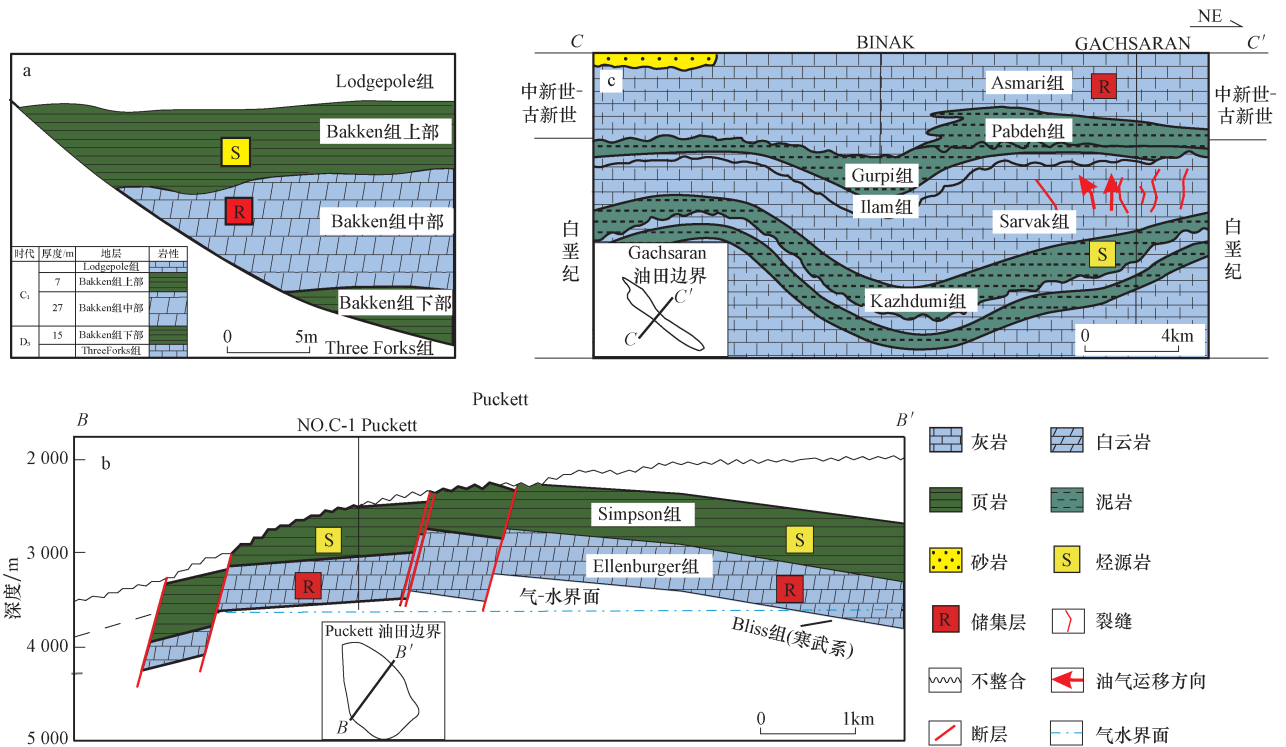


图5 单源型油气成藏体系典型油气田

Fig. 5 Typical fields of one source petroleum accumulation systems

- a. 单源一位, 威利斯顿盆地 Elm Coulee 油田 (据文献[21, 22], 修改); b. 单源二位, 二叠盆地 Puckett 气田 (据文献[24], 修改);
 c. 单源三位, 扎格罗斯盆地 Gachsaran 油田 (据文献[25], 修改)

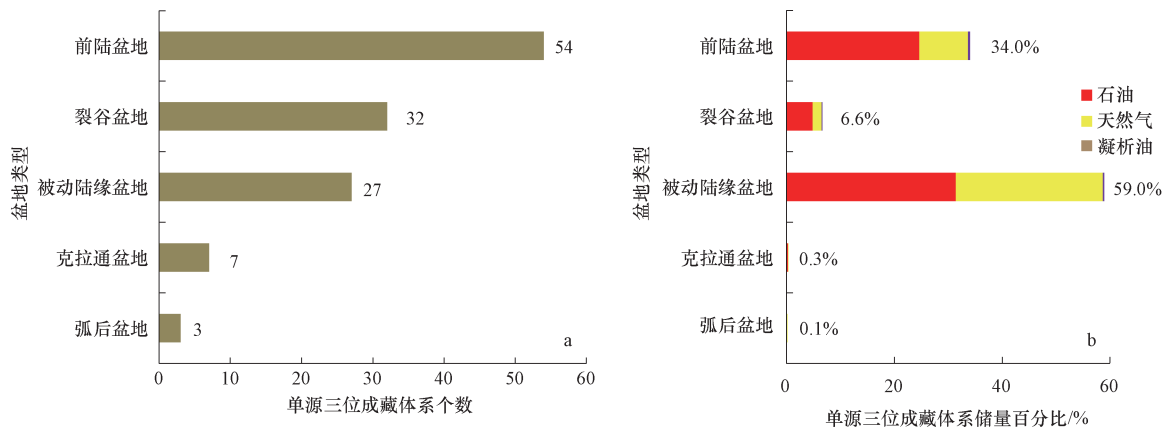


图6 单源三位成藏体系对应的盆地类型和储量占总储量百分比

Fig. 6 Numbers and reserve proportions of one source-three elements petroleum accumulation system in different basins

运移至渐新统一中新统 Asmari 组灰岩储集层中聚集成藏^[25-27] (图 5c)。

前陆盆地内归属于单源三位成藏体系的油气田个数最多, 但就储量而言, 被动陆缘盆地优势明显, 后者的油气储量占到了油气总储量一半以上 (图 6)。笔者认为这可能与碰撞构造背景下的前陆盆地更有利于油气的聚集成藏有关。烃源岩生成的油气通过断裂与不整合等输导体系, 垂向、侧向运移至有效圈闭中聚集成藏。而被动陆缘盆地内的油气田, 个数少但储量规模大, 这些大油气田的形成与保存受控于盆内优质烃源岩的时空展布和蒸发岩区域盖层。

3.2 多源型

3.2.1 二源二位

海相碳酸盐岩盆地中, 归属于二源二位成藏体系的油气田只有 5 个, 主要分布在提曼-伯朝拉盆地、佩拉杰盆地和扎格罗斯盆地。这类成藏体系油气田的主要特征是盆地发育两套有效烃源岩, 其生成的油气直接聚集在与烃源层相邻的圈闭中, 如佩拉杰盆地的 Ragusa 油气田 (图 7), 其烃源岩是上三叠统海相 Noto 组泥灰岩和下侏罗统 Streppenosa 组内陆架页岩, 储集层为下伏于

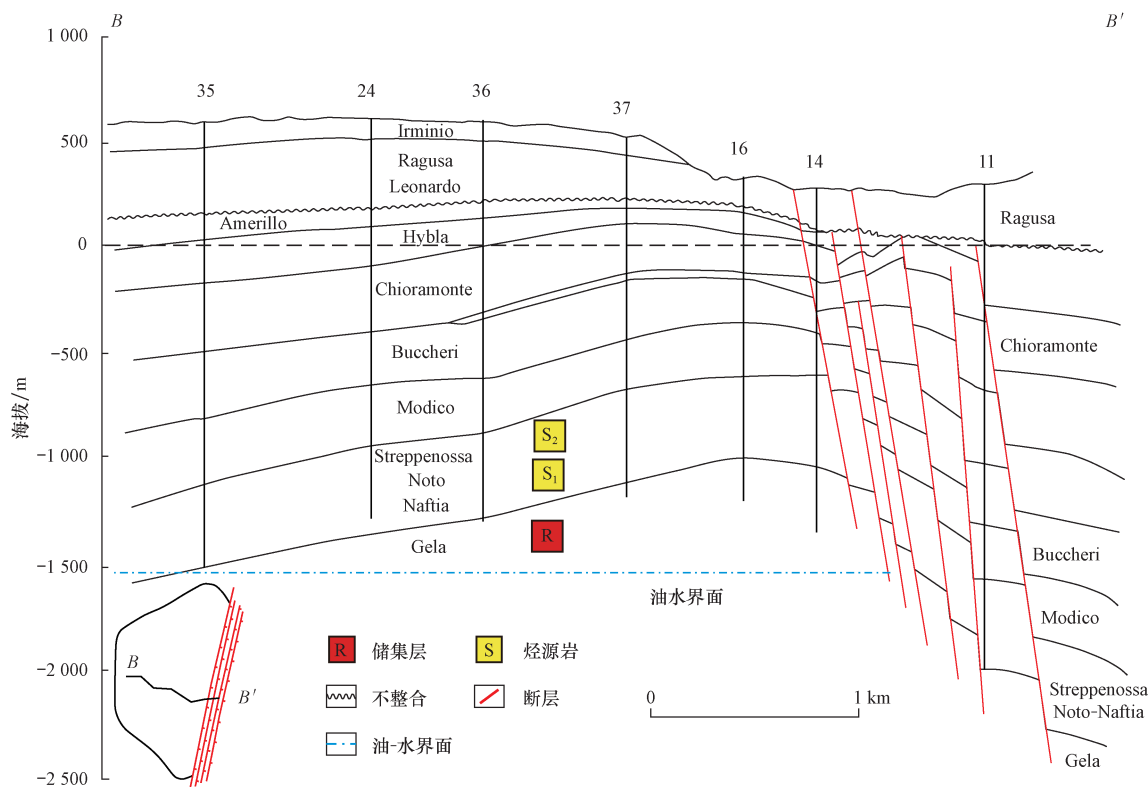


图7 二源二位成藏体系类型的 Ragusa 油气田(据文献[28],修改)

Fig. 7 Ragusa field of two sources-two elements petroleum accumulation system in Pelagian Basin(modified based on reference[28])

烃源层之下的中-下三叠统 Gela 组白云岩^[28-29]。

3.2.2 二源三位

归属于二源三位油气成藏体系的油气田有22个,其中11个分布于亚太地区(图3)。就油气储量而言,主要分布在前苏联和北非地区,归因于这些地区的油气储量规模比较大。滨里海盆地和锡尔特盆地是油气最富集的盆地,不过油气田个数仅为2个,前者的储集层是生物礁,后者是滩坝颗粒灰岩^[30]。归属于这类成藏体系的油气田的油气源自两套有效烃源岩,经过输导体系(裂缝、断层和不整合)运移聚集在圈闭中。如滨里海盆地 Astrakhan 气田(图8),其烃源岩是上石炭统和下二叠统的深水盆地相泥岩,储集层是上石炭统巴什基尔阶台地边缘生物礁灰岩,平均孔隙度为9.0%,基质渗透率为 $2.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,烃源岩生成的油气经裂缝和不整合运移,聚集在下二叠统阿丁斯克阶泥岩盖层之下的构造圈闭内^[31],微裂缝的发育改善了储层的产能,可日产气 $39.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

3.2.3 三源三位

归属于三源三位成藏体系的油气田有7个,这些油气田主要分布于阿纳达科盆地和阿拉伯盆地,其次是密歇根盆地、扎格罗斯盆地和塔里木盆地(图3)。如阿纳达科盆地的 Panhandle 气田(图9),其油气源自3套有效的烃源岩,分别是奥陶系碳酸盐岩、上泥盆

统-下石炭统底部 Woodford 组页岩和上石炭统页岩,其中最主要烃源岩为 Woodford 组页岩,平均总有机碳含量(TOC)为2.7%~5.5%。储集层是下二叠统 Wolfcampian 组生物礁灰岩,输导体系为边界断层和石炭系-二叠系的冲积扇砂体^[33]。

4 讨论

盆地的形成及其构造演化历史与盆地内的油气藏形成关系密切^[34-35]。不同类型的盆地演化控制了盆地内烃源岩、储集层分布的差异性和油气资源的富集程度^[36-37]。虽然海相碳酸盐岩大中型油气田在被动陆缘盆地中的个数不是最多,但其储量最大(图1)。在海相碳酸盐岩大中型油气田中,最普遍的成藏体系类型是单源三位成藏体系,而单源二位是最优越的成藏体系,具有规模性的成藏效应,但需较好的保存条件。在被动陆缘盆地中,归属于单源三位成藏体系的油气田的储量最大(图6),这种特征与伸展构造环境有利于优质烃源岩、有效储集层、良好盖层的形成及生储盖的有效配置密切相关^[38]。前陆盆地中,归属于单源三位成藏体系的油气田个数最多,但储量位居第二位,反映出碰撞构造背景下,可以导致多个挤压背斜圈闭的形成,同时挤压前成藏的油气田亦可发生进一步的调整改造。

笔者认为,海相碳酸盐岩盆地油气成藏体系的分

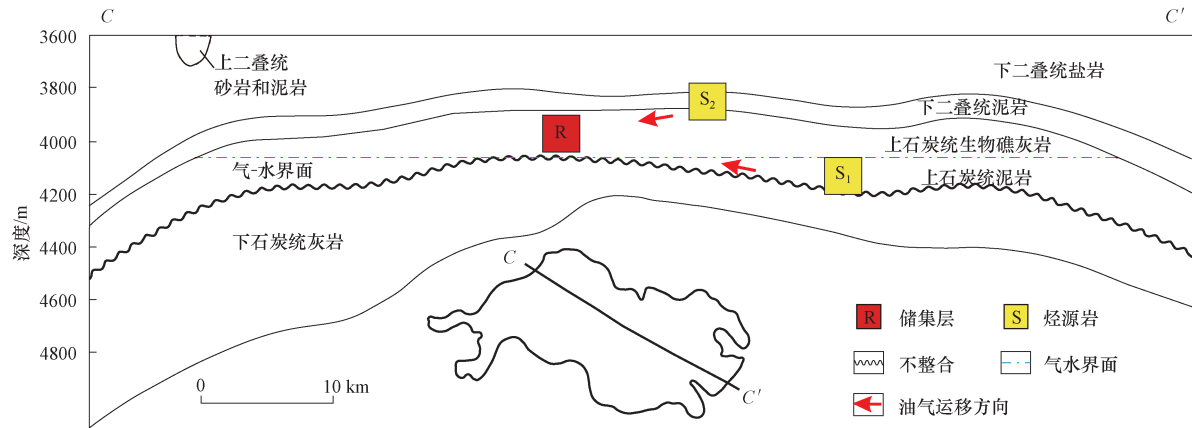


图 8 二源三位成藏体系类型的滨里海盆地 Astrakhan 气田(据文献[32],修改)

Fig. 8 Astrakhan gas field of two sources-three elements petroleum accumulation system in North Caspian Basin (modified based on reference[32])

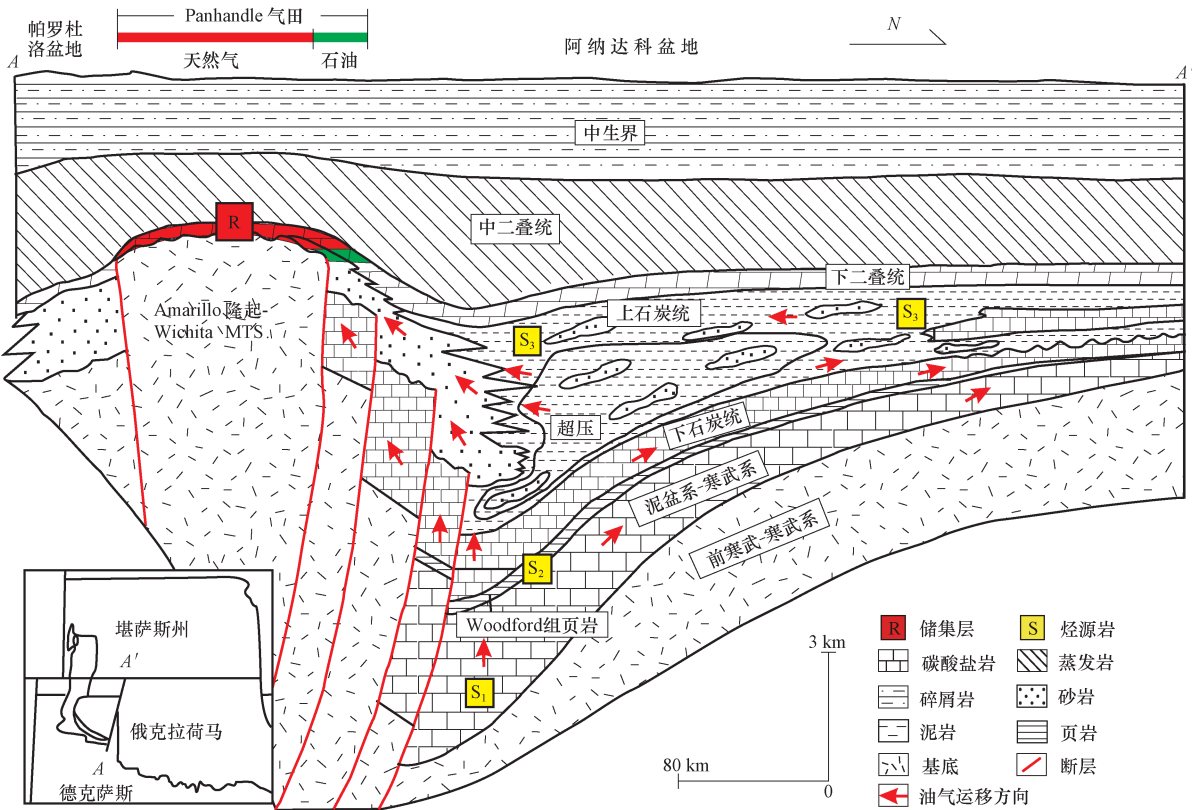


图 9 三源三位成藏体系类型的阿纳达科盆地 Panhandle 气田(据文献[33],修改)

Fig. 9 Panhandle gas field of three sources-three elements petroleum accumulation system in Anadarko Basin (modified based on reference[33])

布不仅与成藏期原型盆地的关系密切^[39],而且还与油气藏形成后的调整与改造密切相关。这不仅仅是因为原型盆地控制了烃源岩发育分布的范围、有效储集层的展布和圈闭条件的形成,更是因为油气藏形成后,盆地的构造沉积演化会对油气的运移和聚集产生重要影响,从而控制海相碳酸盐岩层系油气在时空上的分布与富集。

对于只有一套烃源岩的油气田,可以采用单源型油气成藏体系的分析方法,含油气系统的理论思想同

样适用。而针对像我国塔里木这样古老的海相碳酸盐岩叠合盆地,盆地经历了多旋回的构造演化、多期的油气充注以及油气藏的调整、破坏和改造作用,油气成藏体系的方法则是一种更有效的研究手段^[40]。

5 结论

1) 海相碳酸盐岩层系的油气田(藏)发现于全球 208 个盆地,其石油、天然气和凝析油 2P 可采储量分

别为 $1\,296 \times 10^8 \text{ t}$, $120 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 和 $122 \times 10^8 \text{ t}$, 分别占全球已发现油气总可采储量的 36.7%, 36.7% 和 54.5%, 按油当量计算, 占总量的 37.3%。被动陆缘盆地和前陆盆地是全球海相碳酸盐岩油气最富集的盆地类型; 其次为裂谷盆地, 其油气 2P 可采储量分别占全球总量的 68.1%, 22.9% 和 7.5%。

2) 全球 53 个海相碳酸盐岩盆地 199 个大中型油气田归属于 6 类成藏体系类型, 分别是单源一位、单源二位、单源三位、二源二位、二源三位和三源三位。其中, 最普遍的成藏体系类型是单源三位, 油气田个数达 121 个, 储量也最大, 占大中型油气田总可采储量的 51.6%; 其次是单源二位和二源三位, 油气田个数分别为 41 个和 22 个, 储量占到总量的 37.4% 和 8.4%。

3) 盆地的类型及其构造演化控制了海相碳酸盐岩层系油气成藏体系的分布规律。被动陆缘盆地易于大型—特大型海相碳酸盐岩油气田的形成, 这些油气田多归属于单源三位成藏体系。前陆盆地内的海相碳酸盐岩油气田规模不如被动陆缘盆地大, 但个数最多, 成藏体系亦以单源三位为主。

参 考 文 献

- [1] Bai Guoping, Xu Yan. Giant fields retain to dominance in reserves growth [J]. Oil and Gas Journal, 2014, 112(2): 44–51.
- [2] 金之钧, 张一伟, 王捷, 等. 油气成藏机理与分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 73–94.
Jin Zhijun, Zhang Yiwei, Wang Jie, et al. The accumulation mechanism and distribution regularity of oil and gas[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 73–94.
- [3] 庞雄奇, 金之钧, 姜振学, 等. 叠合盆地油气资源评价问题及其研究意义[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 9–13.
Pang Xiongqi, Jin Zhijun, Jiang Zhenxue, et al. Evaluation of hydrocarbon resources of superimposed basin and its significance [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 9–13.
- [4] 金之钧, 王清晨. 中国典型叠合盆地与油气成藏研究新进展——以塔里木盆地为例[J]. 中国科学: D 辑, 地球科学, 2004, 34(S1): 1–12.
Jin Zhijun, Wang Qingchen. The research advances on typical superimposed basins and their hydrocarbon migration and accumulation: a case study of Tarim basin [J]. China Science (Series D), 2004, 34(S1): 1–12.
- [5] 金之钧. 中国典型叠合盆地与油气成藏研究新进展(之一)——叠合盆地划分与研究方法[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 553–562.
Jin Zhijun. New advancement in research of China's typical superimposed basins and reservoiring (Part I): classification and research methods of superimposed basins [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(5): 553–562.
- [6] 高小康, 胡文瑛, 曹剑, 等. 准噶尔盆地莫索湾—莫北地区油气运移方向和成藏体系[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 250–256.
Gao Xiaokang, Hu Wenxuan, Cao Jian, et al. Study of hydrocarbon migration accumulation in the Mosuowan-Mobei area in Junggar basin [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 250–256.
- [7] 黄金柱. 油气成藏体系概述及研究方法[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 40–47.
Huang Jinzhu. Concept and research methods of petroleum accumulation system [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(2): 40–47.
- [8] 金之钧. 典型叠合盆地油气成藏体系研究思路与方法——以准噶尔盆地中部地区油气藏为例[J]. 高校地质学报, 2011, 17(2): 161–169.
Jin Zhijun. Methods in studying petroleum accumulation systems in a superimposed basin: a case study of petroleum reservoirs in the central Junggar basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2011, 17(2): 161–169.
- [9] Jin Zhijun. Formation and accumulation of oil and gas in marine carbonate sequences in Chinese sedimentary basins [J]. Science China Earth Sciences, 2012, 55(3): 368–385.
- [10] 陶崇智, 白国平, 王大鹏, 等. 塔里木盆地与威利斯顿盆地古生界海相碳酸盐岩油气成藏特征对比[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 431–440.
Tao Chongzhi, Bai Guoping, Wang Dapeng, et al. A comparison of hydrocarbon accumulation characteristics of the Paleozoic marine carbonates in Tarim Basin and Williston Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 431–440.
- [11] 张善文, 王永诗, 石砥石, 等. 网毯式油气成藏体系——以济阳坳陷新近系为例[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 1–10.
Zhang Shanwen, Wang Yongshi, Shi Dishu, et al. Meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system-Taking Neogene of Jiyang depression as an example [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1): 1–10.
- [12] 姜素华, 李涛, 姜雨. 东营凹陷网毯式油气成藏体系油气运聚探讨[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2007, 31(5): 1–6.
Jiang Suhua, Li Tao, Jiang Yu. Discussion on petroleum migrating and accumulating of meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system in Dongying depression [J]. Journal of China University of Petroleum, (Nature Science Edition), 2007, 31(5): 1–6.
- [13] 徐怀民, 徐朝晖, 张善文, 等. 中国东部陆相盆地的层次结构、油气成藏体系与隐蔽油气藏特征——以济阳坳陷为例[J]. 中国科学(D 辑), 2008, 38(S1): 129–137.
Xu Huaimin, Xu Zhaohui, Zhang Shanwen, et al. Layer structure, petroleum accumulation system and characteristic of subtle reservoir of continental basins in eastern China: Taking Jiyang depression for example [J]. China Science (Series D), 2008, 38(S1): 129–137.
- [14] 胡宗全, 尹伟, 伍新和, 等. 中国中西部四大盆地碎屑岩油气成藏体系及其分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 561–570.
Hu Zongquan, Yin Wei, Wu Xinhe, et al. Petroleum accumulation systems of clastic strata and their distribution in the four large-sized basins in central-western China [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 561–570.
- [15] IHS Energy Group. International petroleum exploration and production database [DB/OL]. [2015-01-05]. <http://www.ihsg.com/products/oil-gas-information/data-access/geophysical-surveys/index.aspx>.
- [16] Gautier D L, Dolton G L, Takahashi K I, et al. 1995 National assess-

- ment of United States oil and gas resources-Result, methodology, and supporting data [EB/CD]. Denver; U. S. Geological Survey, 2000.
- [17] U. S. Geological Survey World Energy Assessment Team. U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment 2000-Description and results [EB/CD]. Denver; U. S. Geological Survey, 2000.
- [18] Mann P, Gahagan L, Gordon M B. Tectonic setting of the world's giant oil and gas fields [C]//Halbouty M T. AAPG Memoir No. 78: Giant oil and gas fields of the decade 1990-1999. Tulsa: AAPG, 2003: 15-105.
- [19] Sonnenberg S A, Pramudito A. Petroleum geology of the giant Elm Coulee field, Williston Basin [J]. AAPG Bulletin, 2009, 93 (9): 1127-1153.
- [20] Nordeng S H. The Bakken petroleum system: An example of a continuous petroleum accumulation [J]. North Dakota Department of Mineral Resources Newsletter, 2009, 36 (1): 19-22.
- [21] Kuhn P P, Primio R D, Horfield B. Bulk composition and phase behavior of petroleum sourced by the Bakken Formation of the Williston Basin [J]. Geological Society, London, Petroleum Geology Conference series, 2010, 7: 1065-1077.
- [22] Webster R L. Petroleum source rocks and stratigraphy of the Bakken Formation in North Dakota [C]// Woodward J, Meissner F F, Clayton J L, et al. Hydrocarbon source rocks of the greater Rocky Mountain region. Symposium of the Rocky Mountain Association of Geologists, 1984: 57-81.
- [23] Eidsnes H V. Structural and stratigraphic factors influencing hydrocarbon accumulations in the Bakken Petroleum System in the Elm Coulee field, Williston Basin, Montana [D]. Colorado: Colorado school of mines, 2014.
- [24] Loucks R G, Anderson J H. Depositional facies, diagenetic terranes, and porosity development in lower Ordovician Ellenburger dolomite, Puckett Field, West Texas [C]//Roehl P O, Choquette P W, eds. Carbonate Petroleum Reservoirs. New York: Springer-Verlag, 1985: 19-37.
- [25] James G A, Wynd J G. Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium agreement area [J]. AAPG Bulletin, 1965, 49 (12): 2182-2245.
- [26] 张震, 李浩武, 段宏臻, 等. 扎格罗斯盆地新生界 Asmari-Gachsaran 成藏组合地质特征及成藏模式 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33 (2): 190-199.
- Zhang Zhen, Li Haowu, Duan Hongzhen, et al. Geological characteristics and hydrocarbon accumulation model of the Cenozoic Asmari-Gachsaran play, Zagros Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33 (2): 190-199.
- [27] Kosari E, Gharehcheloo S, Kadkhodaieilkhchi A, et al. Fracture characterization by fusion of geophysical and geomechanical data: a case study from the Asmari reservoir, the Central Zagros fold-thrust belt [J]. Journal of Geophysics & Engineering, 2015, 12 (1): 130-143.
- [28] Kafka F T, Kirkbridge R K. The Ragusa oil field, Sicily [C]// Proceedings of 5th World Petroleum Congress. New York, 1959: 61-85.
- [29] Vercellino J, Rigo F P. Geology and exploration of Sicily and adjacent areas [C]// Halbouty M T, ed. Geology of Giant Petroleum Fields. Tulsa: AAPG Memoir No. 14, 1968: 388-398.
- [30] Abdunaser L M, Bylinkin G. Washing processes and fluid variations-phase equilibria to petroleum geochemistry [J]. Oil & Gas Journal, 2003, 101 (1): 32-38.
- [31] Anissimov L, Bylinkin G. Washing processes and fluid variations-phase equilibria to petroleum geochemistry [J]. Oil & Gas Journal, 2003, 101 (1): 32-38.
- [32] Review of the petroleum geology of the western part of the Sirt Basin, Libya [J]. Journal of African Earth Sciences, 2015, 111: 76-91.
- [33] Sorenson R P. A dynamic model for the Permian Panhandle and Hugoton fields, western Anadarko basin [J]. AAPG Bulletin, 2005, 89 (7): 921-938.
- [34] 贾东, 武龙, 闫兵, 等. 全球大型油气田的盆地类型与分布规律 [J]. 高校地质学报, 2011, 17 (2): 170-184.
- Jia Dong, Wu Long, Yan Bin, et al. Basin types and distribution of the global giant and gas fields [J]. Geological Journal of China Universities, 2011, 17 (4): 170-184.
- [35] Mann P, Horn M, and Cross I. Tectonic setting of 79 giant oil and gas fields discovered from 2000-2007: Implications for future discovered trends [C]//AAPG Annual Convention, Long Beach, California, 2007.
- [36] 吴因业, 邹才能, 胡素云, 等. 全球前陆盆地层序沉积学新进展 [J]. 石油与天然气地质, 2011, 32 (4): 605-614.
- Wu Yinye, Zou Caineng, Hu Suyun, et al. New advances in sedimentology and sequence stratigraphy of foreland basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32 (4): 605-614.
- [37] Klemme H D. Petroleum basins-classifications and characteristics [J]. Journal of Petroleum Geology, 1980, 3 (2): 187-207.
- [38] 谷志东, 汪泽成, 胡素云, 等. 全球海相碳酸盐岩巨型油气田发育的构造环境及勘探启示 [J]. 天然气地球科学, 2012, 23 (1): 106-118.
- Gu Zhidong, Wang Zecheng, Hu Suyun, et al. Tectonic settings of the global marine carbonate giant fields and exploration significance [J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23 (1): 106-118.
- [39] 温志新, 童晓光, 张光亚, 等. 全球板块构造演化过程中五大成盆期原型盆地的形成、改造及叠加过程 [J]. 地学前缘, 2014, 21 (3): 26-37.
- Wen Zhixing, Tong Xiaoguang, Zhang Guangya, et al. The transformation and stacking process of prototype basin in five global plate tectonic evolution stages [J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21 (3): 26-37.
- [40] 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探特殊性问题 [J]. 地学前缘, 2005, 12 (3): 15-22.
- Jin Zhijun. Particularity of petroleum exploration on marine carbonate strata in China sedimentary basins [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12 (3): 15-22.

(编辑 董立)