

我国海相碳酸盐岩大油气田油气藏类型及分布特征

汪泽成¹, 赵文智², 胡素云¹, 姜 华¹, 潘文庆³, 杨 雨⁴, 包洪平⁵

(1. 中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油 勘探与生产公司, 北京 100007; 3. 中国石油 塔里木油田公司, 新疆 库尔勒 841003; 4. 中国石油 西南油气田分公司, 四川 成都 610051; 5. 中国石油 长庆油田分公司, 陕西 西安 710000)

摘要:基于对塔里木、四川及鄂尔多斯三大盆地海相碳酸盐岩大油气田的解剖研究,将我国碳酸盐岩圈闭和油气藏划分为构造型、岩性型、地层型及复合型等4大类21种类型。其中,岩性圈闭可划分为生物礁圈闭、颗粒滩圈闭及成岩圈闭;地层圈闭可分为块断古潜山圈闭、准平原化侵蚀古地貌圈闭、残丘古潜山缝洞体圈闭、似层状缝洞体圈闭、地层楔状体圈闭及地层上超尖灭圈闭。我国陆上海相碳酸盐岩大油气田主要由中低丰度地层型和岩性型油气藏群构成。台缘带发育的生物礁油气藏与颗粒滩油气藏沿台缘带呈“串珠状”分布;准平原化侵蚀古地貌油气藏群呈“团块状”分布;缝洞油气藏群受缝洞储层发育层位控制,呈“似层状”大面积分布。大型古隆起及斜坡带、台缘带是岩性、地层油气藏集群式分布的有利区,油气勘探潜力大。

关键词:集群式分布;地层圈闭;岩性圈闭;油气藏类型;海相碳酸盐岩

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Reservoir types and distribution characteristics of large marine carbonate oil and gas fields in China

Wang Zecheng¹, Zhao Wenzhi², Hu Suyun¹, Jiang Hua¹, Pan Wenqing³, Yang Yu⁴, Bao Hongping⁵

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 2. Exploration & Development Company, PetroChina, Beijing 100007, China; 3. Tarim Oil & Gas Company, PetroChina, Kurla, Xinjiang 841003, China; 4. Southwest Oil & Gas Company, PetroChina, Chengdu, Sichuan 610051, China; 5. Changqing Oil & Gas Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710000, China)

Abstract: Recent analysis of marine carbonate oil and gas fields in Tarim Basin, Sichuan Basin and Erdos Basin reveals that carbonate traps and reservoirs in China can be classified into 4 major categories (i. e. structural traps, lithologic traps, stratigraphic traps and hybrid traps) and 21 types. The paper focuses on only stratigraphic and lithologic traps as they are more common trap types in the country. The lithologic traps can be further classified into bioherm traps, grain bank traps and diagenetic traps. The stratigraphic traps can also be classified into fault-block buried hill traps, peneplain erosion paeleogeomorphologic traps, monadnock buried hill fracture-vuggy traps, quasi-bedded fracture-vuggy traps, stratigraphic wedge traps and stratigraphic onlap pinchout traps. The paper points out that the marine carbonate oil and gas fields on China mainland are mainly of stratigraphic and lithologic reservoirs with moderate to low abundance. The bioherm reservoirs and grain bank reservoirs develop and distribute in a bead-like shape along platform margin, while the peneplain erosion palaeogeomorphologic reservoirs present as the shape of crumbs; the fractured-vuggy reservoirs are distributed widely in the quasi-bedded shape. The large ancient uplift, slope zone and platform margin, are considered favorable areas for cluster distribution of lithologic and stratigraphic oil and gas reservoirs and therefore are regarded to have great potential for hydrocarbon exploration.

Key words: cluster distribution, stratigraphic trap, lithologic trap, hydrocarbon reservoir type, marine carbonate rock

以古生界为主的海相碳酸盐岩是我国陆上油气勘探的重要领域。进入21世纪,这一领域的油气勘探取得了重要进展。近几年来,在塔里木盆地台盆区奥陶系,四川盆地川北地区二叠系、三叠系礁滩以及川中地

区震旦系-寒武系,鄂尔多斯盆地中央古隆起东翼奥陶系等,发现了一批大型碳酸盐岩油气田。与国外中、新生代海相碳酸盐岩大油气田相比,我国海相碳酸盐岩油气田的储量规模要小很多,且油气藏类型也复杂

很多。导致这种现象的主要原因是我国古老海相碳酸盐岩油气地质条件远比国外复杂得多。一方面我国陆上海相碳酸盐岩层系经历了复杂的构造运动,造成生、储、盖等成藏地质条件和原始沉积相比有很大变化,尤为明显的具最优生储盖条件的大陆边缘沉积卷入变形或者遭受破坏,残留保存较为完整的地层多属于板块内部克拉通盆地沉积^[1-5],现今又多位于叠合盆地深层^[6-7]。另一方面,从生烃与成藏过程看,海相层系普遍经历了多期生烃与多期成藏^[8-10],而且在成藏期后又经历了调整改造与破坏^[11]。因而,国外成熟的海相碳酸盐岩油气地质理论及大油气田分布的规律性认识,并不能完全有效指导我国海相碳酸盐岩油气勘探,需要形成、发展我国海相碳酸盐岩油气地质理论,以期在海相碳酸盐岩勘探部署中发挥更大的指导作用。

1 国外碳酸盐岩大油气田圈闭与油气藏类型

国外油公司将碳酸盐岩圈闭与油气藏类型分为构造型、地层型、复合型3大类,各类圈闭又根据圈闭机制进一步细化。C & C公司(1998)按照这种分类方案,完成对世界碳酸盐岩大油气田的统计分析,世界198个碳酸盐岩大油气田中属于构造型油气藏的大油气田有91个(占大油气田个数的46.9%)(图1);属于地层型油气藏的大油气田有33个油田(占21.6%);属于复合型油气藏的大油气田有74个(占31.5%)。从储量分布看,构造型油气田发现储量占碳酸盐岩大油气田总储量的84%;地层-构造复合型发现储量占碳酸盐岩大油气田总储量的14.2%;地层型发现储量占碳酸盐岩大油气田总储量的1.8%。由此可见,构造油气藏及与构造相关的复合油气藏是碳酸盐岩大油气田的主要油气藏类型。

构造圈闭不论是油田数量还是地质储量,都是最大的一种类型。根据各种构造要素的相对重要性,构造圈闭可进一步分为:1)褶皱背斜圈闭;2)冲断-背斜圈闭;3)正断-背斜圈闭;4)扭动-背斜圈闭;5)基底隆升-背斜圈闭;6)盐活动相关断背斜。从统计数据看,碳酸盐岩构造圈闭主要与盐活动、构造挤压作用、基底隆起的“复活”等因素有关。其中,与盐活动相关的穹隆和断背斜为圈闭类型的油田有26个,南阿拉伯湾、北海、西非、乌克兰和墨西哥碳酸盐岩油田是主体类型。盐活动导致的裂缝在改善储层渗透率方面起到了关键作用,例如北海和墨西哥的一些油田。与台地内部基底复活隆升有关的背斜圈闭,往往形成世界级的大油田(如中东的Ghawar, Khafji, Wafra, Qatif, Berri, Bu Hasa, Bab和Asab油田)。

复合型圈闭是碳酸盐岩地层中第二大类圈闭。这

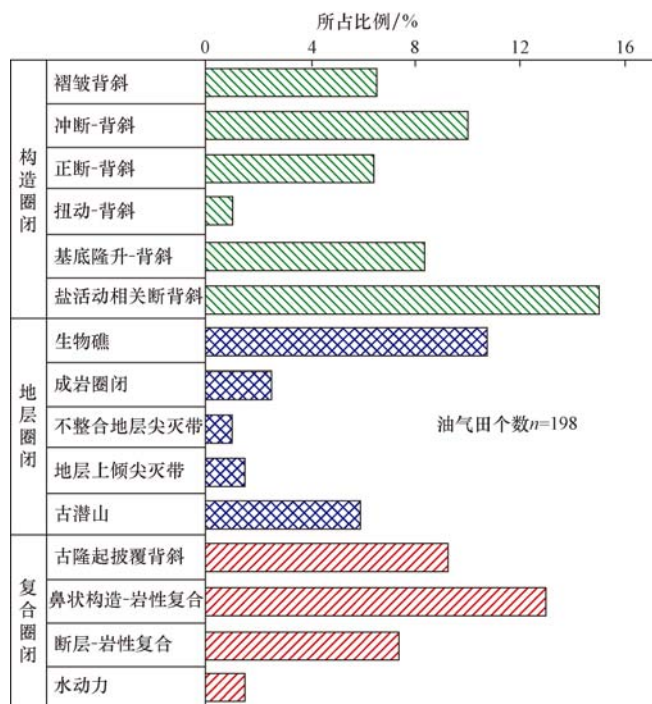


图1 国外碳酸盐岩大油气田油气藏类型分布

Fig. 1 Distribution of reservoir types of giant carbonate oil & gas fields in foreign countries

类圈闭可进一步划分为:古潜山、古高地的披覆背斜、鼻状构造-相变复合、断层-相变复合、水动力-构造复合等圈闭类型。其中,鼻状构造-相变复合型圈闭是其中发现油田数量最多的一类圈闭,如美国Wiliston盆地密西西比系和二叠盆地上二叠统中发现数量众多复合型油气藏。古高地披覆背斜圈闭是复合圈闭中第二大类型,前苏联许多大油田都属于此类。

地层圈闭是三大类圈闭中发现大油气田数量最少的一类。可进一步分为生物礁圈闭、成岩圈闭、不整合面下伏楔状体以及上超地层尖灭带。其中,海相页岩或蒸发岩中发育的生物礁建隆是地层圈闭中数量最多的。海相页岩中发育的生物礁建隆主要是在相对海平面快速上升期间形成的,例如东南亚中新世生物礁建隆、利比亚古新世生物礁建隆、西加拿大盆地晚泥盆世生物礁建隆和二叠盆地石炭纪生物礁建隆。蒸发岩中生物礁建隆形成于碳酸盐岩-蒸发岩旋回沉积期间(例如:密歇根盆地志留纪生物礁建隆、西加拿大盆地中泥盆统生物礁建隆和Paradox盆地石炭纪生物礁建隆)。其他类型的地层圈闭分布相对局限,通常与下列情况相关:1)不整合的发育(如美国West Edmond油田);2)局部白云岩化(如加拿大Rosevear油田);3)局部裂缝(如美国Giddings和Pearsall油田);4)上超作用造成的上倾方向孔隙尖灭(如埃及Zeit Bay油田)。

国外海相碳酸盐岩大油气田分布有两大显著特点:1)地层时代新,主要分布于侏罗纪、白垩纪与古近纪;2)盆地类型以被动大陆边缘盆地、陆陆碰撞边缘盆

地、大陆裂谷盆地为主,尤以被动边缘盆地的大油气田数量与探明储量最多,其次为陆陆碰撞边缘盆地与大陆裂谷。上述盆地中,不仅具备良好的生储盖组合条件,而且构造活动较强,构造相关的圈闭类型发育。这就不难解释构造油气藏是国外碳酸盐岩油气藏的主体类型。

2 我国海相碳酸盐岩圈闭与油气藏类型

我国陆上发现的碳酸盐岩油气藏数量众多,目前尚未有统一的碳酸盐岩油气藏类型划分方案。不同学者从不同角度对碳酸盐岩油气藏进行分类,如有学者从油气藏演化角度,强调古油气藏的保存与改造,将碳酸盐岩油气藏分为原生型油气藏和改造型油气藏^[12-14];还有学者认为中国海相碳酸盐岩油气藏既不是典型的原生型,也与次生油气藏有明显的区别,它应属准原生油气藏^[11]。更多学者从其所研究工区碳酸盐岩油气藏特点出发,提出适合本地区的分类,如鄂尔多斯盆地奥陶系古地貌油气藏^[15];塔河奥陶系古风化壳潜山(丘)型和岩溶储集体型两类油气藏^[16-20]。

我国古老海相碳酸盐岩油气藏类型的复杂性是碳酸盐岩储层强非均质性决定的。油气藏中流体分布受

储集类型控制,油气水关系复杂,在非构造型油气藏中表现尤为明显。因此,海相碳酸盐岩油气藏类型的划分,不仅要考虑圈闭类型,更要考虑储集体类型。这样的分类方案将有助于正确理解油气藏特征,更重要的是在勘探开发中将针对不同类型油气藏,有针对性采取不同的勘探部署思路、勘探方法及开发方案。

本文提出碳酸盐岩圈闭与油气藏类型划分方案(表1)。首先将碳酸盐岩圈闭分为构造型、地层型、岩性型及复合型4大类。在各大类中,按照圈闭形成的主导因素进一步细化类型。其中,岩性圈闭和地层圈闭的细化分类中,充分考虑储集体类型。限于篇幅,简要介绍岩性型与地层型油气藏的基本特征。

2.1 岩性圈闭

岩性圈闭是指碳酸盐岩地层中由于沉积相变化或者成岩作用差异所形成的岩性圈闭体,可以是透镜体状,也可以是上倾尖灭。岩性圈闭的形成是受沉积相或者受成岩相控制,而非受地层不整合控制,与地层圈闭有较大的差别。岩性圈闭多发育在层系内部,受沉积相控制明显;而地层圈闭受不整合控制,与构造运动关系更为密切,因而将岩性圈闭和地层圈闭两种类型分开非常有必要。

表 1 我国海相碳酸盐岩圈闭类型与油气藏实例
Table 1 Trap types and reservoirs of marine carbonate rocks in China

圈闭类型		油气藏
构造圈闭	挤压背斜圈闭	英买 2(O)、塔中 4(O)、塔中 16(O)、和田河(O)、渡口河(T ₁ f)、铁山(T ₁ f)
	逆断层-背斜圈闭	五百梯(C)、大池干(C)、轮南 14(O)、普光 2(P ₂)、铁山坡(P ₂)
	正断层-背斜圈闭	解放渠(T)、桑塔木(T)
	断层-裂缝圈闭	蜀南(P-T ₁)
岩性圈闭	生物礁圈闭	边缘礁圈闭 龙岗 1(P ₂)、塔中 62(O ₂ l)、塔中 82(O ₂ l)
		点礁圈闭 高峰场(P ₂)、龙岗 11(P ₂)、板东 4(P ₂)
	颗粒滩圈闭	鲕滩岩性圈闭 龙岗(T ₁ f)、元坝(T ₁ f)
		生屑滩岩性圈闭 磨溪(P ₂)
		砂(砾)屑滩 磨溪(T ₂ l)
	成岩圈闭(如白云石化)	
地层圈闭	块断潜山圈闭	
	任丘(O—Pt)、南堡 2(O)、牛东(O)	
	不整合面之下	准平原化侵蚀古地貌圈闭 靖边(O ₁ m)、龙岗(T ₂ l)
		残丘古潜山缝洞体圈闭 轮南(O)、轮古东(O)
		似层状缝洞体圈闭 塔河(O)、哈拉哈塘(O)、塔中鹰山组
		地层楔状体圈闭 华蓥山西(C)
	不整合面之上	地层上超尖灭圈闭 哈德 4(C)
复合圈闭	构造-岩性复合	构造-生物礁复合 普光(P ₂)、黄龙场(P ₂)
		构造-颗粒滩复合 铁北 101(T ₁ f)
	构造-地层复合	
	温泉井(C)、天东(C)	
	地层-岩性复合	
	靖边西(马五 ₅)	
	断层-热液白云岩复合	
	中古 9(O)	

注:表中括号内为含油气层位。

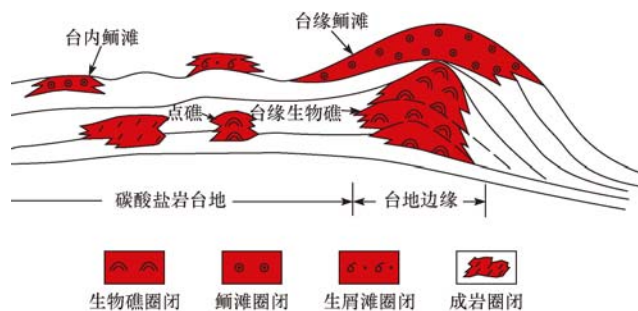


图2 碳酸盐岩岩性圈闭与油气藏类型示意图

Fig. 2 Schematic diagram of lithologic traps and reservoir types of carbonate rocks

岩性圈闭根据储集体类型,可进一步划分为3类:生物礁圈闭、颗粒滩圈闭及成岩圈闭(图2)。

生物礁圈闭,可根据生物礁分布与形态,分为边缘礁圈闭和点礁圈闭。边缘礁圈闭主要分布在碳酸盐岩台地边缘,规模大、成带状分布,地震上好识别,成藏条件良好,可形成油气富集带。四川盆地龙岗地区长兴组发育台缘带生物礁,按形态分为堤礁、岛礁^[18],前者呈直线条状分布于龙岗1井,后者呈盘状分布在剑门地区,如龙岗63岛礁面积可达37 km²。点礁圈闭主要分布在碳酸盐岩台地内部,规模小、成片分布,地震识别有难度,往往以小型油气藏为主,如龙岗11井区。

颗粒滩圈闭,可根据颗粒滩成因细分为鲕滩、生屑滩、砂(砾)屑滩等圈闭类型(图2)。圈闭的规模受滩体大小控制,通常在水动力较强的沉积环境(如台缘带)发育的滩体规模大,物性条件较好,油气藏规模较大。如四川盆地下三叠统飞仙关组鲕滩气藏,在开江-梁平海槽台缘带,鲕滩气藏以鲕粒白云岩储层为主,储层厚度达30~110 m,目前已发现普光、罗家寨等一批鲕滩大气田^[21]。

成岩圈闭,可以是局部白云石作用导致白云岩储层被致密灰岩所围限的圈闭,如四川盆地雷口坡组、嘉陵江组普遍存在局部白云岩圈闭。从这两套层系的钻探情况看,白云岩储层发育区往往含气,而相邻的致密灰岩中不含气。成岩圈闭也可以由差异溶蚀作用形成,如鄂尔多斯盆地陕6井区奥陶系的成岩透镜体气藏^[17]。这类圈闭主要分布在层间,与沉积相横向变化有很大关系。如,蒸发湖坪相区周缘发育的砂屑滩体,易于发生白云石化作用,形成的白云岩储集体与围岩共同构成岩性圈闭。可见,将成岩圈闭纳入到岩性圈闭中更为合理。

2.2 地层圈闭

碳酸盐岩地层中普遍发育溶蚀缝洞型储集体,由于储层非均质强烈,使得缝洞体内油气水关系复杂,很难按照经典石油地质学的油气藏定义进行描述,具特

殊性。碳酸盐岩地层中溶蚀缝洞储集体形成主要受大气淡水溶蚀作用控制,与不整合面、古风化壳有密切关系。因此,本文将与不整合面、古风化壳有密切关系的岩溶储集体圈闭称之为地层圈闭,可分为“不整合之下”及“不整合面之上”两类。不整合面之下的圈闭类型多样,可依据岩溶储集体形成的主导因素以及储集体形态、空间分布等,进一步划分为5种类型(图3)。

1) 块断潜山圈闭,是指断陷盆地中碳酸盐岩基底在断层活动控制下形成的潜山断块圈闭。这类圈闭在渤海湾盆地中常见(图3a)。烃源岩为断陷期沉积的湖相泥质岩,储集层为前断陷期发育的碳酸盐岩,储集空间为溶蚀孔、洞,或者裂缝,两者构成新生古储的油气藏,如任丘古潜山油藏。这类圈闭能否成藏取决于与上覆烃源岩接触的“供油窗”是否存在。

2) 准平原化侵蚀古地貌圈闭(图3b),是指准平原化喀斯特古地貌背景下发育的岩溶储集体圈闭,长时间的岩溶作用使得岩溶储层层位稳定,互层状大面积分布;圈闭的侧向封堵主要靠侵蚀沟谷充填泥质岩形成的岩性封堵带,如靖边气田奥陶系马家沟组马五₄段—马五₁段。

3) 残丘古潜山缝洞体圈闭(图3c),是指峰林耸立、沟壑纵横的喀斯特古地貌背景下发育的岩溶储集体圈闭。这类圈闭多发育在长期隆升的古隆起部位。由于古潜山地貌落差大,使得岩溶储层发育深度跨度大,各岩溶相带中,表层岩溶带的洞穴最发育,其次为水平潜流带和季节变动带,垂直渗流带洞穴最不发育。此外,构造裂缝发育,以发育立缝和低角度缝为主,高角度缝和水平缝则较次发育。油气分布受局部构造影响不明显,油水界面宏观上呈现与岩溶储层平行的倾斜特点。

4) 似层状缝洞体圈闭(图3d),是指碳酸盐岩地层中由顺层岩溶或者层间岩溶作用形成的溶洞、溶孔与裂缝相互连接形成的孔-缝-洞网络圈闭体,具有沿某个层系集中分布的特点。这类圈闭中以缝洞体为油气聚集单元,具有相对独立的油水系统及油水界面。多个缝洞单元以不同方式叠加形成复合油气藏,平面上沿着洞缝储层发育带似层状分布,缺少统一的油气水边界。

顺层岩溶作用和层间岩溶作用是似层状缝洞体圈闭形成的关键因素。根据这两类岩溶作用,可将这类圈闭分为顺层岩溶型圈闭和层间岩溶型圈闭,前者主要发育在古隆起围斜部位的顺层岩溶储集体中,通常位于残丘古潜山圈闭向斜坡带延伸部位,如塔北哈拉哈塘奥陶系;后者主要发育在碳酸盐岩层系内受较短时间的层间不整合面控制的层间岩溶储集体中,可以在古隆起斜坡或者古隆起高部位分布,如塔中鹰山组。

5) 地层楔状体圈闭(图3e),是指不整合面之下

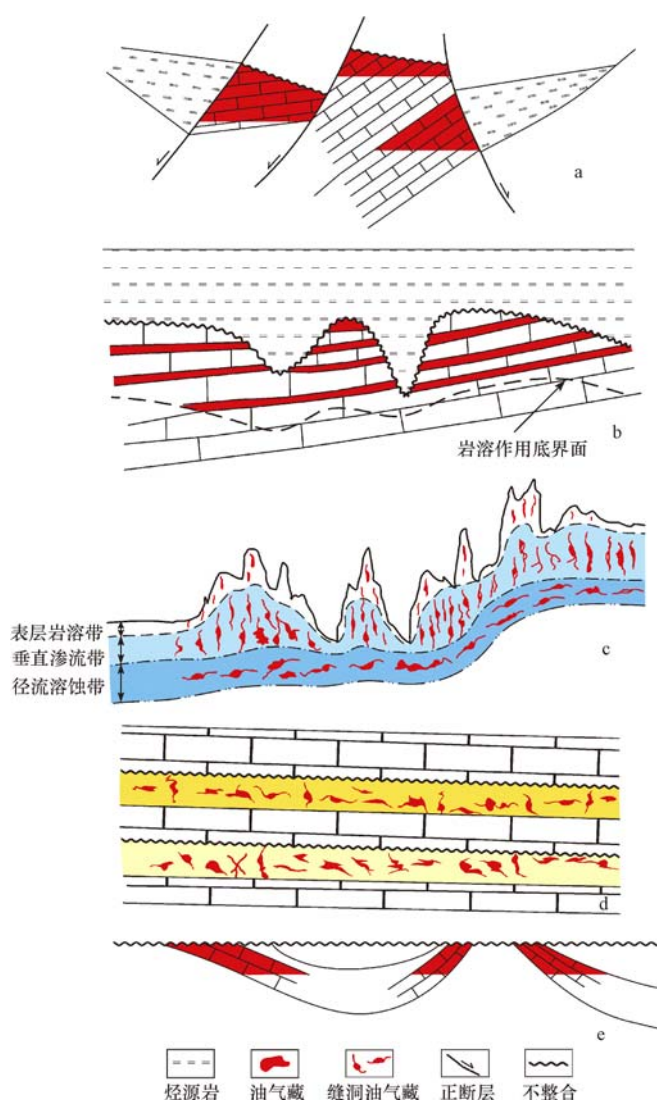


图3 碳酸盐岩地层圈闭与油气藏类型

Fig. 3 Stratigraphic traps and reservoir types of carbonate rocks

- a. 块断潜山圈闭与油气藏; b. 准平原化侵蚀古地貌圈闭与油气藏;
c. 残丘古潜山圈闭与油气藏; d. 似层状缝洞体圈闭与油气藏;
e. 地层楔状体圈闭与油气藏

被剥蚀截断的碳酸盐岩楔状体圈闭。川东石炭系在地层剥蚀缺失“天窗”区周围以及石炭系地层尖灭带均发育这类圈闭,其上覆的二叠系泥质岩具备良好的封盖条件^[19]。这类圈闭与不整合面之上的地层上超尖灭圈闭,形态上很相似,分布上后者受沉积相控制、沿古隆起分布。

需要指出,残丘古潜山圈闭以及似层状缝洞体圈闭中,缝洞体为基本的聚油气单元,可以是纯油藏或有底水油气藏。多个缝洞体油气藏以不同方式叠加形成缝洞体油气藏群,平面上沿着缝洞储层发育带似层状分布,垂向上油气水分布复杂,局部高点油气相对富集。如塔北古隆起南缘斜坡的哈拉哈塘地区鹰山组发育大面积似层状分布的洞缝型储集体。钻井证实该区油气水关系复杂,受缝洞的连通性控制。根据缝洞体分布状态、连通性及缝洞体大小,可以分为3类:孤立

缝洞油气藏、大缝洞体沟通油气藏、小缝洞体沟通油气藏。孤立洞缝油气藏由于缝洞相对孤立,油气藏能量随开采不断下降并最终枯竭,需要能量的补充。大缝洞体沟通油气藏具有高产高能的特征,能量变化平缓,见底水后,油气产量迅速下降。

3 我国碳酸盐岩大油气田油气藏分布特征

3.1 基本特征

3.1.1 大油气田中主力含油气层系分布稳定

大量勘探实践表明,塔里木、四川、鄂尔多斯等盆地碳酸盐岩含油气层系多、分布广。但是,大油气田中主力含油气层位分布稳定,可集中在某个层组,甚至在某个层段。四川盆地海相碳酸盐岩从震旦系到中三叠统发育17个含气层系,但已发现的大气田集中分布在震旦系灯影组、寒武系龙王庙组、石炭系黄龙组、上二叠统长兴组及下三叠统飞仙关组。目前,上述主力含气层系累计探明天然气储量占盆地海相层系总探明储量的87%,天然气产量占95%以上。塔北南缘哈拉哈塘主力含油气层分布在奥陶系一间房组—鹰山组。其中,鹰山组含油气层主要发育在鹰一段上部风化壳岩溶储层,表现为纵向成层、横向连片的特征。一间房组含油气层主要分布在顶面之下90 m的范围内。鹰山组与一间房组之间发育高阻灰岩段,成为分隔两个含油气层段的分隔层。鄂尔多斯盆地靖边气田奥陶系主力气层分布在马家沟组马五₁₊₂段、马五₄段,其中以马五₁、马五₃顶、马五₄底3层最为特征,含气层位连片性好,全气田均可追踪对比。

3.1.2 油气藏类型以地层型、岩性型为主

截止2010年底,我国已发现的碳酸盐岩油气田中,属于大型油田(指技术可采储量大于 $2\,500 \times 10^4$ t的油田)只有任丘油田和塔河油田,前者属于块断古潜山油气藏,后者属于残丘古潜山型以及似层状缝洞型油气藏;中型油田(技术可采储量在 $250 \times 10^4 \sim 2\,500 \times 10^4$ t)有6个,分布在塔里木盆地塔北和塔中地区,其中塔中4和塔中10油田属于构造型油气藏,塔中1号油田属于台缘带礁滩型油气藏,其他油田以似层状油气藏为主。这些大中型油田累计储量占总储量的89%。发现大中型气田10个,其中5个气田属于鲕滩气藏型,2个大气田属于准平原化侵蚀古地貌圈闭型,3个大气田属于构造-岩性复合型,累计探明储量占总探明储量的92%。由此可见,中国古老海相碳酸盐岩大油气田主要油气藏类型为地层型、岩性型,以古

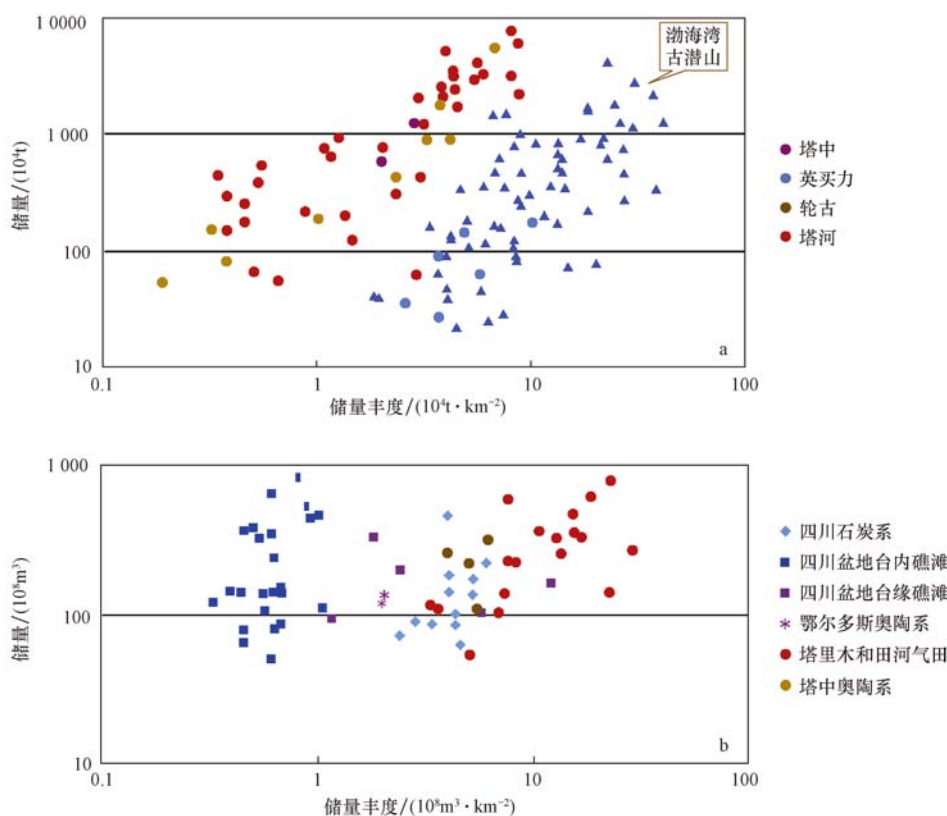


图4 我国部分碳酸盐岩油气藏储量丰度统计

Fig. 4 Statistics of reserve abundance of some carbonate oil and gas reservoirs in China

a. 油藏储量与储量丰度的关系; b. 气藏储量与储量丰度的关系

潜山、风化壳、礁滩等地层-岩性油气藏为主。这一点与国外碳酸盐岩油气藏有本质区别。

3.1.3 地层型、岩性型油气藏储量丰度偏低,以中-低丰度为主

油气藏是油气田的储量计算单元。通过对塔里木、四川、鄂尔多斯、渤海湾四大盆地 128 个油藏和 123 个气藏的储量统计,不同类型油气藏的储量丰度差异较大。从图 4 可以看出,塔里木台盆区油藏储量丰度为 $(2 \sim 90) \times 10^4 \text{ t/km}^2$,除少数几个油藏属于高储量丰度外,其余均属于中-低丰度油藏。从气藏储量丰度看,台缘带天然气储量丰度较高,为 $(3 \sim 30) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,台内礁滩气藏储量丰度只有 $(1.2 \sim 6.5) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,而准平原化侵蚀古地貌气藏储量丰度最低,只有 $(0.3 \sim 1.8) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

3.1.4 受晚期构造活动控制的碳酸盐岩油气藏储量丰度高

受晚期构造活动控制的碳酸盐岩油气藏主要有块断潜山油气藏以及分布在构造带部位的构造型油气藏。和地层型、岩性型油气藏相比,这类油气藏中的多数具较高的储量丰度,如渤海湾块断潜山油气藏储量丰度可达以中-高丰度为主,任丘油田储量丰度最高可

达 $703 \times 10^4 \text{ t/km}^2$;四川盆地川东北长兴组-飞仙关组礁滩构造气藏的储量丰度可达 $(7 \sim 39) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$;川东高陡构造带石炭系气藏储量丰度在 $(3 \sim 6) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

3.2 碳酸盐岩大油气田中油气藏“集群式”分布特征

碳酸盐岩油气藏“集群式”分布是我国古老碳酸盐岩中低丰度大油气田最显著的特点。所谓“集群式”分布是指同一类型油气藏沿某个层系或几个层系集中分布,单个油气藏规模小,但数十个乃至数千油气藏群累计规模大,共同构成大油气田。造成油气藏“集群式”分布的主要因素是碳酸盐岩储层非均质性强烈,藏与藏之间缺乏连通性。由于圈闭成因不同,油气藏“集群式”分布特点也不同,因而所采取的勘探开发技术对策也有所差异。

总结我国塔里木、四川、鄂尔多斯三大盆地海相碳酸盐岩大油气田中油气藏群分布,可归纳如下。

1) 台缘带生物礁油气藏和颗粒滩要去藏“串珠状”状分布。台缘带生物礁圈闭及鲕滩圈闭均为岩性圈闭,受沉积相带控制,总体表现出“串珠状”环绕台缘带分布。这类油气藏受礁、滩储渗体控制,“一礁、一滩、一藏”特征明显^[18]。如,四川盆地龙岗地区 LG7-LG28 井区,发现长兴组生物礁气藏 17 个,飞仙关组鲕

滩气藏19个,每个气藏具独立的气水系统。塔中I号带良里塔格组台缘带礁滩复合体具“小礁大滩”的结构特征^[22-23],单个礁体50~150 m;多期礁、滩纵向加积叠置,累计厚度达120~180 m。这些礁滩复合体沿台缘成群、成带分布,东西长220 km,南北宽5~18 km,有利面积1 500 km²。目前已发现塔中82、塔中62、塔中26、塔中83等礁滩油气田,探明储量数亿吨。

2) 准平原化侵蚀古地貌油气藏群被网状侵蚀沟槽及岩性变化所限,呈“团块状”分布。如靖边奥陶系大气田是典型实例。奥陶系马家沟组风化壳储层尽管分布层位稳定,但圈闭形成受控于网状侵蚀沟槽充填的侧向封堵,形成“团块状”含气块。据不完全统计,靖边气田发现气藏158个,气层厚度2~7 m,单个气藏含气面积20~60 km²,单个气藏储量(20~50)×10⁸ m³,气藏储量丰度(0.5~0.7)×10⁸ m³/km²。

3) 缝洞油气藏群受缝洞储层发育层位控制,“似层状”大面积分布。如塔河油田,截止2010年该油田已累计探明石油地质储量超过10×10⁸ t。在2 800 km²含油范围内可划分出100个缝洞单元,其中大型缝洞单元35个,中型缝洞单元22个,小型缝洞单元43个,平均缝洞体面积28 km²,单个缝洞体储量规模小于1 000×10⁴ t。

缝洞油气藏群主要发育在大型古隆起及其斜坡带,顺层岩溶作用及层间岩溶作用是这类储集体似层状、大面积分布的主要因素,可形成纵向多层系、横向分布广的分布特点,如塔北斜坡奥陶系发育一间房组、鹰山组、良里塔格组等多套似层状分布的缝洞型岩溶储层。同一地区多层缝洞体油气藏在平面上叠合连片含油、空间上不均匀富集的特征。

目前研究表明,在塔西南古隆起、四川盆地乐山-龙女寺古隆起震旦系-下古生界、泸州-开江古隆起的下二叠统与中、下三叠统均可能存在似层状分布的缝洞型油气藏,勘探前景广阔。

4) 后期构造改造的碳酸盐岩油气藏分布受构造带控制,以构造型和复合型(主要有构造-地层复合型、构造-岩性复合型)为主,沿主断裂带分布。目前,已发现的构造型和构造-复合型油气藏主要分布在四川盆地川东高陡构造带、大巴山前缘构造带以及川南-川西南低陡构造带;塔里木盆地主要分布在塔中I号断裂带^[24]、塔北轮南-桑塔木断裂带;渤海湾盆地二级构造带等。这些构造带的形成主要与喜马拉雅期构造运动有关,导致构造圈闭分布受构造带控制。

4 结论

1) 我国陆上海相碳酸盐岩圈闭油气藏分为构造

型、地层型、岩性型及复合型四大类型。岩性圈闭可分为生物礁圈闭、颗粒滩圈闭及成岩圈闭;地层圈闭可分为块断古潜山圈闭、准平原化侵蚀古地貌圈闭、残丘古潜山缝洞体圈闭、似层状缝洞体圈闭、地层楔状体圈闭、地层上超尖灭圈闭。针对不同类型圈闭与油气藏,所对应的勘探思路、采取的勘探方法均不同。

2) 我国陆上海相碳酸盐岩大油气田主要由中低丰度地层型、岩性型油气藏群构成。台缘带礁滩大油气田中,生物礁油气藏与颗粒滩油气藏相互叠置、沿台缘带串珠状分布;准平原化侵蚀古地貌油气藏群受限于网状沟槽,呈“团块状”分布;缝洞油气藏群受缝洞储层发育层位控制,呈“似层状”大面积分布。

3) 我国海相碳酸盐岩层系中发育的大型古隆起及斜坡带、台缘带是岩性、地层油气藏集群式分布的有利区,成藏条件良好,未来勘探潜力大。

4) 后期构造改造的碳酸盐岩油气藏分布受构造带控制,以构造型和复合型(主要有构造-地层复合型、构造-岩性复合型)为主,沿主断裂带分布。

参 考 文 献

- [1] 赵文智,张光亚,何海清,等.中国海相石油地质与叠合含油气盆地[M].北京:地质出版社,2002:62-214.
Zhao Wenzhi, Zhang Guangya, He Haiqing, et al. Petroleum geology in marine strata and superimposed petroliferous basins of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 62-214.
- [2] 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.
- [3] 汪泽成,赵文智,张林,等.四川盆地构造层系与天然气勘探[M].北京:地质出版社,2002.
Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Zhang Lin, et al. The structural sequence of the Sichuan basin and the natural gas exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002.
- [4] 张水昌,梁狄刚,朱光有,等.中国海相油气田形成的地质基础[J].科学通报,2007,52(增刊I):19-31.
Zhang Shuichang, Liang Digang, Zhu Guangyou, et al. Fundamental geological elements for the occurrence of Chinese marine oil and gas accumulations[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(S1): 19-31.
- [5] 王庭斌.中国大中型气田分布的地质特征及主控因素[J].石油勘探与开发,2005,32(4):1-8.
Wang Tingbin. Distribution of large-middle sized gas fields in China: geological characteristics and key controlling factors[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 1-8.
- [6] 赵文智.中国叠合盆地含油气系统基本特征及其评价方法[M].北京:科学出版社,2003:120-158.
Zhao Wenzhi. The basic characters and evaluation method of petroleum system in superimposed basins of China[M]. Beijing: Science Press, 2003: 120-158.

- [7] 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),2004,34(S1):1-12.
Jin Zhijun, Wang Qingcheng. The research advances on typical superimposed basins and their hydrocarbon migration and accumulation[J]. China Science(Series D),2004,34(S1):1-12.
- [8] 康玉柱. 海相成油新理论与塔河大油田的发现[J]. 地质力学学报,2002,8(3):201-207.
Kang Yuzhu. New theory of marine oil formation and discovery of Tahe oil field, northern Tarim basin[J]. Journal of Geomechanics,2002,8(3):201-207.
- [9] 赵文智,汪泽成,王兆云,等. 中国高效天然气藏形成的基础理论研究进展与意义[J]. 地学前缘,2005,12(4):499-506.
Zhao Wenzhi, Wang Zecheng, Wang Zhaoyun, et al. Progresses and significances of research on high-efficiency gas reservoir formation in China[J]. Earth Science Frontiers,2005,12(4):499-506.
- [10] 刘德汉,付金华,郑聪斌,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系海相碳酸盐岩生烃性能与中部长庆气田气源成因研究[J]. 地质学报,2004,78(4):542-550.
Liu Dehan, Fu Jinhua, Zheng Congbin, et al. Research on hydrocarbon generation of Ordovician marine carbonate of the Ordos Basin and genesis of Changqing gas fields[J]. Acta Geologica Sinica,2004,78(4):542-550.
- [11] 张抗. 塔北隆起南坡奥陶系油气藏类型辨析[J]. 新疆石油地质,2003,24(1):13-18.
Zhang Kang. Discern the oil and gas pools types of south slope in Taibei Uplift[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2003,24(1):13-18.
- [12] 王英民. 海相改造残留盆地的地质特征和勘探前景[J]. 石油与天然气地质,2000,21(1):28-32.
Wang Yingmin. Geological characters and exploration prospects of reformed-residual basins[J]. Oil & Gas Geology,2000,21(1):28-32.
- [13] 朱光有,张水昌,张斌,等. 中国中西部地区海相碳酸盐岩油气藏类型与成藏模式[J]. 石油学报,2010,31(6):871-878.
Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, Zhang Bin, et al. Reservoir types of marine carbonates and their accumulation model in western and central China[J]. Acta Petrolei Sinian,2010,31(6):871-878.
- [14] 赵靖舟,李秀荣. 晚期调整再成藏——塔里木盆地海相油气藏形成的一个重要特征[J]. 新疆石油地质,2002,23(2):89-91.
Zhao Jingzhou, Li Xiurong. Late adjustment and re-accumulation as a major feature of marine petroleum accumulation in Tarim basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2002,23(2):89-91.
- [15] 杨华,黄道军,郑聪斌. 鄂尔多斯盆地奥陶系岩溶地貌气藏特征及勘探进展[J]. 中国石油勘探,2006,3(3):1-5.
Yang Hua, Hang Daojun, Zheng Congbin. Characteristics of gas reservoir and exploration achievement for Ordovician paleokarst landform in Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration,2006,3(3):1-5.
- [16] 张希明. 新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型油气藏特征[J]. 石油勘探与开发,2001,28(5):17-22.
Zhang Ximing. The characteristics of lower Ordovician fissure-vug carbonate oil and gas pools in Tahe Oil field[J]. Petroleum Exploration and Development,2001,28(5):17-22.
- [17] 何发岐. 碳酸盐岩地层中不整合-岩溶风化壳油气田——以塔里木盆地塔河油田为例[J]. 地质论评,2002,48(4):391-397.
He Faqi. Karst weathering crust oil-gas field on carbonate unconformity: an example from the Tahe oilfield in the Ordovician reservoir in the Tarim Basin[J]. Geological Review,2002,48(4):391-397.
- [18] 杜金虎,徐春春,汪泽成,等. 四川盆地二叠—三叠系礁滩天然气勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2010.
Du Jinhu, Xu Chunchun, Wang Zecheng, et al. Natural gas exploration of Permian-Triassic reef & oolite in Sichuan basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press,2010.
- [19] 何治亮,彭守涛,张涛. 塔里木盆地塔河地区奥陶系储层形成的控制因素与复合-联合成因机制[J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):743-752.
He Zhiliang, Peng Shoutao, Zhang Tao. Controlling factors and genetic pattern of the Ordovician reservoirs in the Tahe area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology,2010,31(6):743-752.
- [20] 何治亮,魏修成,钱一雄,等. 海相碳酸盐岩优质储层形成机理与分布预测[J]. 石油与天然气地质,2011,32(4):489-498.
He Zhiliang, Wei Xiucheng, Qian Yixiong, et al. Forming mechanism and distribution prediction of quality marine carbonate reservoirs[J]. Oil & Gas Geology,2011,32(4):489-498.
- [21] 郭彤楼. 川东北地区碳酸盐岩层系孔隙型与裂缝型气藏成藏差异性[J]. 石油与天然气地质,2011,32(3):311-317.
Guo Tonglou. Differences in reservoir-forming between porous and fractured gas pools in carbonates, the northeastern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology,2011,32(3):311-317.
- [22] 胡光灿,谢姚祥. 中国四川盆地东部高陡构造石炭系气田[M]. 北京:石油工业出版社,1997:63-130.
Hu Guangcan, Xie Yaoliang. Carboniferous reservoirs in the high and steep structure, eastern Sichuan basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press,1997:63-130.
- [23] 杜金虎,王招明,李启明,等. 塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩油气勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2010.
Du Jinhu, Wang Zhaoming, Li Qiming, et al. Petroleum & gas exploration of Cambrian-Ordovician carbonate rocks in Tarim basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press,2010.
- [24] 杨俊,姜振学,向才富,等. 塔里木盆地塔中83—塔中16井区碳酸盐岩油气特征及其成因机理[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):101-110.
Yang Jun, Jiang Zhenxue, Xiang Caifu, et al. Carbonate reservoir characteristics and their genetic mechanisms in Tazhong83—Tazhong16 block, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(1):101-110.