

全球深层油气藏及其分布规律

白国平,曹斌凤

(中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249)

摘要: 深层油气勘探对老油气区(田)扩大储量、稳定产量具有重要意义。以全球深层油气藏的最新资料为基础,系统统计分析了全球深层油气分布特征。在全球(不包括美国本土48州)349个含油气盆地中,87个盆地内发现了深层油气藏。全球深层油气储量的63.3%分布于碎屑岩储集层,35.0%储于碳酸盐岩,其余的1.7%储于岩浆岩和变质岩。构造圈闭富集了全球深层油气储量的73.7%,是深层油气最重要的圈闭类型。被动陆缘盆地和前陆盆地是深层油气最富集的盆地类型,其深层油气储量分别占全球总量的47.7%和46.4%。层系上,深层油气主要富集于5套储集层系:古近系(占全球总量的22.3%)、上古生界(22.2%)、白垩系(18.3%)、新近系(12.8%)和侏罗系(12.8%),深层油气的层系分布特征与中、浅层油气类似。岩盐导致的盐下沉积物的负热异常效应抑制了盆地深层烃源岩的热演化或液态烃向气态烃转化,因此含盐盆地深层油气勘探特别值得关注。建议深层油气勘探应立足于中、浅层已有重大油气发现的地区,特别是发育有一定规模盐岩的地区。

关键词: 前陆盆地;被动陆缘盆地;含盐盆地;油气分布;深层油气藏

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Characteristics and distribution patterns of deep petroleum accumulations in the world

Bai Guoping, Cao Binfeng

(State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Exploration for deep petroleum accumulations(DPAs)is of great significance to reserve growth and production stabilization of established petroleum provinces(fields). With an update database for the worldwide DPAs,this study attempts to document their distribution characteristics. Among the 349 petroliferous basins in the world(excluding US Lower 48 States),87 basins have discovered DPAs. Clastic rocks and carbonates host 63.3% and 35.0% of the total proved plus probable(2P)deep petroleum reserves in the world,respectively. The remaining 1.7% are in igneous and metamorphic rocks. In terms of trap type,73.7% of the total are entrapped in structural traps. Passive margin and foreland basins contain the bulk of the total 2P deep petroleum reserves,with the former accounting for 47.7% of the total and the latter 46.4%. Stratigraphically,the 2P deep petroleum reserves are largely stored in five reservoir intervals:the Paleogene(hosting 22.3% of the total),Upper Paleozoic(22.2%),Cretaceous(18.3%),Neogene(12.8%) and Jurassic(12.8%). Such a stratigraphic distribution is similar to that of shallow-intermediate reservoirs. As salts have a cooling effect for the subsalt sediments,the maturation of sub-salt source rocks or the conversion of trapped oil to gas can be retarded or delayed. Salt-bearing deep basins deserve special attention for deep petroleum exploration. This study suggests that deep petroleum exploration should target the play fairways where major discoveries have been made in the shallow-intermediate reservoirs,particularly those fairways with salts of certain scale.

Key words: foreland basin,passive margin basin,salt basin,oil and gas distribution,deep petroleum accumulation

深层油气藏是指现今埋藏深度超过4 500 m的油气藏^[1]。随着中浅层油气勘探开发程度不断提高,油气发现难度日益加大,深层油气勘探开发越来越被广泛关

注,全球深层油气的新增储量呈明显增长趋势(图1)。勘探开发盆地的深层油气资源,对老油气区(田)扩大储量、稳定产量有着非常重要的意义。与中浅层油气相

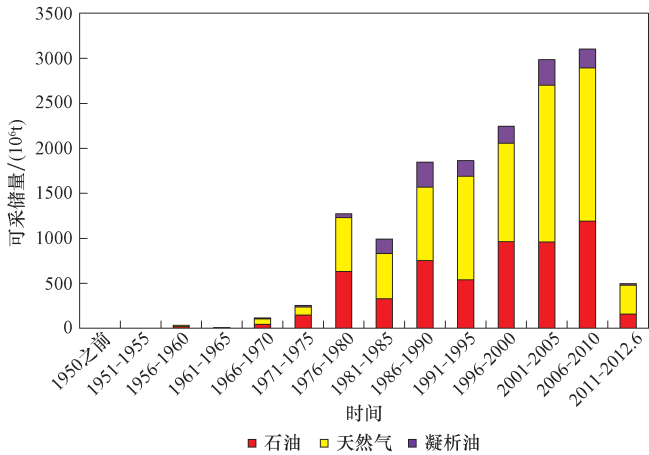


图 1 全球深层油气 2P 可采储量增长史 (不包括美国本土 48 州)
Fig. 1 Discovery history of original 2P petroleum reserves for deep petroleum accumulations worldwide (excluding US Lower 48 States)

比,深层油气勘探开发面临两大挑战:一是深层油气成藏理论不够成熟;二是深层油气勘探开发难度大,投资回报率低。因此,未来深层油气勘探开发将依赖于对深层油气藏成藏特征的认识及钻井、完井等技术的突破^[1-4]。

多位学者开展过有关深层油气地质特征的研究^[1-2,5-11],其中 Dyman 等^[1]探讨了全球待发现深层常规天然气的资源潜力和区域分布特征,是目前为止有关深层油气研究最为详尽的公开文献。王宇等^[5]基于全球 24 个盆地的油气地质基础资料,定性探讨了全球深层油气分布特征,但其资料基础有待进一步充实。前人的研究成果尚未涉及全球深层油气藏的定量表征及其分布规律。

深层油气的勘探可追溯至 20 世纪 50 年代。1956 年,在美国阿纳达科盆地 Carter-Knox 气田埋深 4 663 m 的中奥陶统 Simpson 群碳酸盐岩内发现了世界上第一个深层气藏^[12]。之后,伴随着深层钻井和完井等技术的突破,油气勘探向超深层^[1](埋深超过 7 500 m)领域迈进。如 1977 年,在阿纳达科盆地 Mills Ranch 气田 8 097 m 深处的寒武系-奥陶系 Arbuckle 群白云岩内发现了气藏^[13]。1984 年,在意大利 Villifortuna-Trecate 油田 6 400 m 深处的三叠系白云岩内发现了油藏^[14]。自 1980 年起,深层油气勘探由陆上逐渐向海域拓展,如 1980 年,在阿拉伯盆地 Fateh 气田埋深 4 500 m 的二叠系 Khuff 组灰岩内发现了气藏。目前,深层油气勘探在墨西哥湾、巴西东部、西非等深水区和超深水区已取得重大突破。此外,在北极地区(如俄罗斯蒂曼-伯朝拉盆地),深层勘探也有一定的突破。截至 2012 年 6 月,在全球(不包括美国本土 48 州)349 个含油气盆地中的 87 个盆地内,发现了 1 595 个深层油气藏(图 2),本文将这些已发现深层油气藏的盆地称之为

为深层含油气盆地。
基于全球范围(不包括美国本土 48 州)内深层油气藏的最新数据资料,本文试图揭示深层油气藏的油气地质特征,表征深层油气分布规律,探讨盐岩对沉积盆地深层烃源岩(烃类)保存的影响,并通过与中浅层油气分布特征类比,揭示深层油气在不同时代储集层系富集的差异性。

1 油气地质特征

1.1 油气储量

常规油气在沉积盆地深层广泛分布,按照相态,可分为石油、天然气和凝析油 3 类。全球深层石油、天然气和凝析油探明和控制(2P)可采储量分别为 $5\,755 \times 10^6$ t, $100\,836 \times 10^8$ m³ 和 $1\,383 \times 10^6$ t, 合计为 $15\,238 \times 10^6$ t 油当量(表 1)。在已发现的深层油气中,石油、天然气和凝析油可采储量分别占深层油气 2P 总可采储量的 37.8%, 53.1% 和 9.1%, 即深层油气以天然气为主。石油在盆地深层储集岩中的存在可能与大气水沿盆地边界断层下渗所引起的盆地深层低温或低热成熟度有关^[15], 亦可能与超压^[16-18]和盐岩沉积^[19-23]有关。

1.2 储集层

深层储集岩分为三大类:碎屑岩、碳酸盐岩和结晶岩(岩浆岩和变质岩)。世界深层油气 2P 可采储量的 63.3% 分布于碎屑岩储集层,而碳酸盐岩和结晶岩分别占 35.0% 和 1.7%。

随着钻井和地震成像技术的突破以及深水浊积岩油气藏理论的日趋成熟,在过去的 10 年,深层油气勘探在深水区和超深水区获得巨大成功。墨西哥湾是目前世界上深水油气勘探最为活跃的地区;在巴西和西非海域,也陆续发现深水油气田;俄罗斯、挪威及加拿大亦在加强深水油气勘探。世界深层油气 2P 可采储量的 23.7% 分布于深水(水深超过 500 m)和超深水(水深超过 2 000 m)区的浊积岩储集层,其中被动陆缘深水区深层油气藏储量占深水发现总储量的 83.4%。深水浊积岩依然是今后被动陆缘盆地深层油气勘探的重要目标。

图 3 显示了深层储集岩孔隙度与其埋藏顶深的关系。以 250 m 的间隔,分别计算了碎屑岩和碳酸盐岩储层每个埋深段的孔隙度中位数(P_{50})。由于结晶岩储层孔隙度数据极少,因此未计算其中位数。可以看出,碳酸盐岩储层孔隙度较埋深类似的碎屑岩低很多,碳酸盐岩储层孔隙度 P_{50} 整体上随埋深减小。与之相比,碎屑岩储层孔隙度 P_{50} 随埋深的变化趋势不明显,

表 1 全球深层油气探明和控制可采储量一览表

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

地区	石油探明和控制储量/ (10 ⁶ t)	天然气探明和控制储量/ (10 ⁸ m ³)	凝析油探明和控制储量/ (10 ⁶ t)	折合成油当量* / (10 ⁶ t)
前苏联	393	13 515	155	1 634
欧洲	75	5 723	139	674
亚太	777	19 622	85	2 438
北美**	2 759	10 595	218	3 828
中南美	1 031	21 884	250	3 039
非洲	28	2 115	7	205
中东	692	27 382	529	3 420
世界总计	5 755	100 836	1 383	15 238

* 1 245 m³ 天然气相当于 1 t 石油; ** 不包括美国本土 48 州。

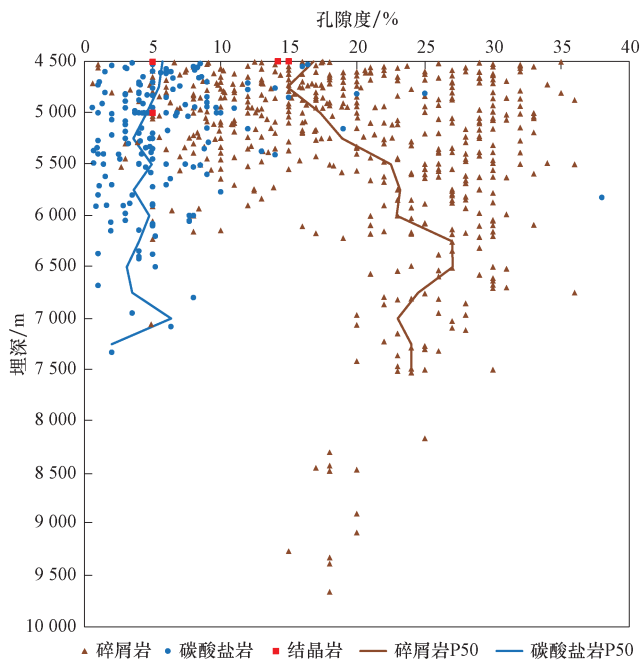


图 3 深层储集岩孔隙度与埋藏顶深交汇图

Fig. 3 Cross plot of porosity versus top depth of deep reservoirs

这反映了不同盆地或不同埋深段储层内孔隙流体压力、沉积速率、油气充注时间、成岩作用等方面的巨大差异。

孔隙流体超压、高沉积速率、抑制胶结作用的颗粒膜的发育、早期油气充注及碎屑组分的选择性溶解均可导致深层储集岩发育较高的孔隙度。对于埋深大于 7 300 m 的深层油气藏而言,储集层基本全是碎屑岩,孔隙度达 18% ~ 30%。需要指出的是这些深层和超深层碎屑岩储集层几乎均发现于墨西哥湾盆地,这样高的孔隙度与储集层时代新(主要为新近纪,其次为古近纪)和成岩作用弱有关。

1.3 圈闭类型

构造圈闭聚集了全球深层油气 2P 可采储量的

73.7%,而复合圈闭和地层圈闭(包括岩性圈闭)分别占 21.9%和 4.4%。

尽管全球已发现的深层油气储量的绝大部分分布于构造圈闭和复合圈闭,但这并不意味着地层圈闭在深层油气探勘中可以被忽略。近年来,陆续发现了与地层圈闭或不整合面相关的深层油气藏,尤其在碳酸盐岩层系中,譬如,四川盆地的龙岗气田。

2 油气分布特征

2.1 区域分布

全球分为七大区:前苏联、欧洲、亚太、北美、中南美、非洲和中东。其中,北美发现的深层油气最多,2P 可采储量达 $3\,828 \times 10^6$ t 油当量,中东和中南美次之,分别为 $3\,420 \times 10^6$ t 和 $3\,039 \times 10^6$ t 油当量(表 1)。同时,北美也是深层石油最富集的地区,石油 2P 可采储量为 $2\,759 \times 10^6$ t,其中绝大部分分布于墨西哥湾的深水 and 超深水区。中东是深层天然气和凝析油发现最多的地区,天然气和凝析油 2P 可采储量分别为 $27\,382 \times 10^8$ m³ 和 529×10^6 t,其中深层天然气 2P 可采储量的 56% 分布于阿拉伯盆地。

2.2 盆地分布

在全球 87 个深层含油气盆地中,48 个盆地的深层油气 2P 可采储量超过了 50×10^6 bbl 油当量(约 7×10^6 t 油当量)(图 2),其中最富集的三大盆地为墨西哥湾盆地($3\,764 \times 10^6$ t 油当量)、阿拉伯盆地($2\,073 \times 10^6$ t 油当量)和东委内瑞拉盆地($1\,572 \times 10^6$ t 油当量),合计占全球深层油气 2P 总可采储量的 48.6%。在墨西哥湾盆地,发现了埋深最大的深层油气藏,埋藏顶深为 9 661 m。

为了类比分析深层油气在不同类型盆地的分布,同时考虑到国内学者的使用习惯,基于 Ingersoll 和

Busby^[24]的盆地分类系统,本文将 87 个深层含油气盆地划分为 7 种类型:大陆裂谷、被动陆缘、前陆、内克拉通、弧前、弧后和走滑盆地。被动陆缘盆地(25 个)和前陆盆地(41 个)是深层油气最富集的盆地类型,其次为裂谷盆地(12 个),它们分别聚集了全球深层油气 2P 总可采储量的 47.7%,46.4%和 5.6%。弧后盆地(2 个)、走滑盆地(3 个)、内克拉通盆地(1 个)和弧前盆地(3 个)内发现的深层油气藏的 2P 可采储量仅占全球总量的 0.3%(图 4)。

2.3 埋深和层系分布

已发现的深层油气储量随埋深递减(图 5)。全球深层油气 2P 可采储量的 86.6%分布于埋深 4 500~6 000 m 的储层中。已发现的超深层(埋深超过 7 500 m)油气 2P 可采储量仅占全球总量的 3.3%。

层系上,深层油气主要聚集于 5 套储集层系:新近系、上古生界、白垩系、古近系和侏罗系,其深层油气 2P 可采储量分别占全球总量的 22.3%,22.2%,18.3%,12.8%和 12.8%(图 6)。同时,随储集层时代变老,深层天然气在深层油气总量中所占的比例增大。

3 讨论

3.1 盐岩抑制盐下烃源岩热演化

在全球 87 个深层含油气盆地中,含盐盆地达 33 个,这些含盐盆地的深层油气 2P 可采储量占全球深层油气 2P 总可采储量的 65.8%。就石油而言,全球深层石油 2P 可采储量的 75.9%分布于含盐盆地。被动陆缘(13 个)和前陆盆地(16 个)是含盐深层盆地的主

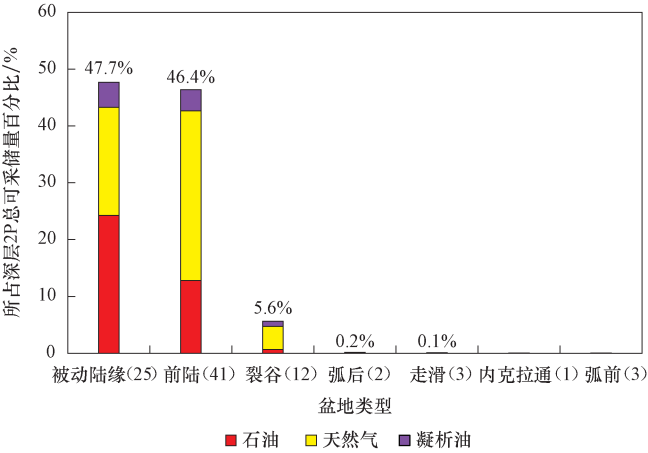


图 4 不同盆地类型深层油气分布

Fig. 4 Distributions of deep reservoirs in different type of basins

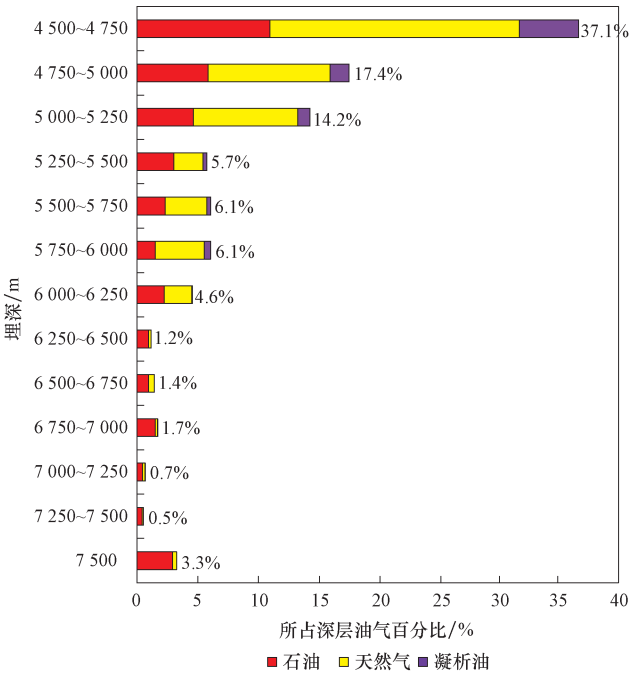


图 5 深层油气随埋深的分布

Fig. 5 Distribution of deep oil/gas reservoirs with burial depth

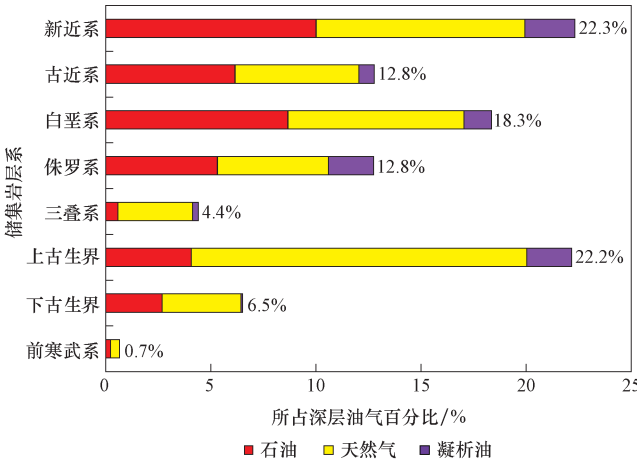


图 6 深层油气的层系分布

Fig. 6 Stratigraphic distribution of deep oil/gas reservoirs

要盆地类型,其次为裂谷盆地(4 个),这在一定程度上解释了被动陆缘盆地和前陆盆地深层油气较富集的原因。深层油气最富集的含盐盆地依次为墨西哥湾盆地、阿拉伯盆地、塔里木盆地、扎格罗斯盆地、阿曼盆地、滨里海盆地、北海地堑、第聂伯—顿涅茨盆地、桑托斯、德国西北盆地和黎凡特盆地(图 2)。这 11 个含盐盆地的深层油气 2P 可采储量均超过了 $1\,000 \times 10^6$ bbl 油当量(约 136×10^6 t 油当量),合计占全球深层油气 2P 总可采储量的 63.7%,其中深层石油占全球深层石油 2P 可采储量的 74.4%,所占比例更高。与非含盐盆地相比,盐及其相关盐构造会引起盐下沉积物的负热异常效应,这种负热异常伴随盐及其相关盐构造的存在而存在,对盆地深层盐下烃源岩的热演化或液态

烃向气态烃的转化起到抑制作用^[19-23]。

笔者认为含盐盆地的深层油气勘探潜力较大,这不仅仅是因为盐构造可为油气藏形成创造运移通道和圈闭条件,盐层可构成有效的盖层;更是因为由盐及其相关盐构造引起的盐下负热异常效应对深层烃源岩的保存具有重要意义。

3.2 深层油气层系分布差异

全球深层油气 2P 可采储量的 66.2% 分布于侏罗系—新近系,与这些层系内烃源岩的广泛分布密切相关^[25]。图 7a 显示了各层系储集的深层油气可采储量

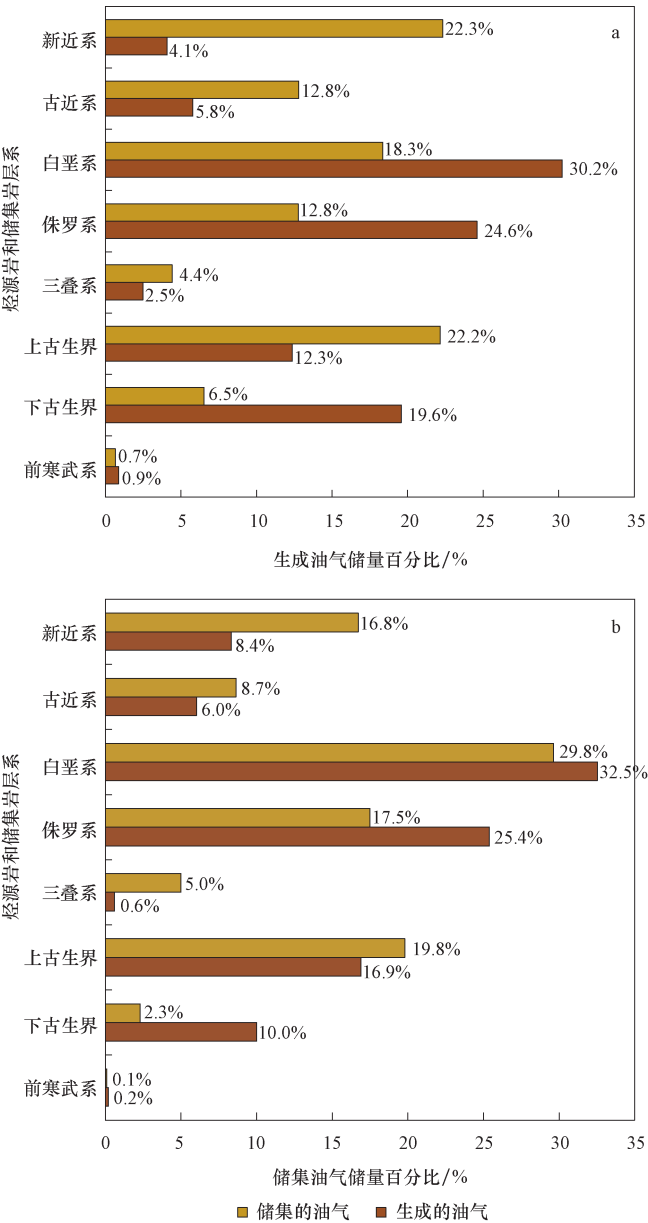


图 7 各层系油气生成的储量和储集的储量占总量百分比
Fig. 7 Proportion of the generated deep reserves of each sequence to the total versus proportion of the trapped deep reserves in each sequence to the total
(据 Klemme 和 Ulmishek^[25], 有修改。)
a. 深层油气; b. 中浅层油气

和其生成的深层油气可采储量占全球总量的百分比,从中可以看出古老烃源岩较年轻烃源岩生烃潜力差,这可能与其有机质保存较差和热演化程度较高有关。此外,图 7a 也表征了深层油气的运移特征,新近系、上古生界、白垩系、古近系和侏罗系是深层油气较富集的储层段。在这 5 套层系中,新近系、上古生界和古近系储集岩储集的深层油气均较这些层系烃源岩生成的油气储量多;相反在白垩系和侏罗系中,深层油气储集量较生成的储量少,这意味着它们生成的油气运移至了其它储集层系。因此,深层油气层系分布的差异性不仅与烃源岩密切相关,而且与油气运移亦有联系,后者在一定程度上决定了深层油气在部分层系中的富集。

Klemme 和 Ulmishek^[25] 讨论了全球油气的层系分布(图 7b),虽然他们未标注储量资料的截止日期,但推断是 20 世纪 80 年代中、后期。考虑到 1990 年前发现的深层油气储量不多(图 1),Klemme 和 Ulmishek^[25] 的工作可以看做是对中浅层油气层系分布特征的表征。图 7a 和图 7b 表明全球深层油气的层系分布与中浅层油气的层系分布非常类似。因此,深层油气勘探应立足于中浅层已有重大油气发现的地区。

4 结论

1) 在全球 87 个深层含油气盆地中,发现了 1 595 个深层油气藏,石油、天然气和凝析油探明和控制(2P)可采储量分别为 $5\,755 \times 10^6$ t, $100\,836 \times 10^8$ m³ 和 $1\,383 \times 10^6$ t,合计为 $15\,238 \times 10^6$ t 油当量。世界深层油气 2P 可采储量的 63.3% 分布于碎屑岩储集层,35.0% 储于碳酸盐岩,而岩浆岩和变质岩仅占 1.7%。构造圈闭聚集了全球深层油气 2P 可采储量的 73.7%,复合圈闭和地层圈闭(包括岩性圈闭)分别占 21.9% 和 4.4%。

2) 被动陆缘盆地和前陆盆地是深层油气最富集的盆地类型,其深层油气 2P 可采储量分别占全球总量的 47.7% 和 46.4%。层系上,深层油气主要富集于 5 套储集层系:新近系、上古生界、白垩系、古近系、侏罗系,其深层油气 2P 可采储量分别占全球总量的 22.3%, 22.2%, 18.3%, 12.8% 和 12.8%。

3) 盐及其相关盐构造引起的盐下沉积物负热异常效应可抑制盆地深层烃源岩的热演化,对盐下深层烃源岩和液态烃的保存起到至关重要的作用,因此含盐盆地的深层油气勘探潜力较大,特别是石油勘探潜力。

4) 深层油气有着与中、浅层油气类似的层系分布,深层油气勘探应立足于中、浅层已有重大油气发现的地区,特别是发育有一定规模盐岩的地区。

参 考 文 献

[1] Dyman T S, Crovelli R A, Bartberger C E, et al. Worldwide estimates of deep natural gas resources based on the US Geological Survey World Petroleum Assessment 2000[J]. *Natural Resources Research*, 2002, 11(6): 207–218.

[2] Perry W J Jr. Structural settings of deep natural gas accumulations in the conterminous United States[C]//Dyman T S, Rice D D, Westcott P A. *Geologic controls of deep natural gas resources in the United States*. USGS Bulletin, 1997, 2146-E: 41–46.

[3] Wyman R E. Challenges of ultradeep drilling[C]//Howell D G. *The future of energy gases*. USGS Professional Paper, 1993, 1570: 205–216.

[4] Erskine R D. String of drilling successes puts El Paso out front in deep gas[J]. *American Oil and Gas Reporter*, 2001, 44(12): 44–54.

[5] 王宇, 苏劲, 王凯, 等. 全球深层油气分布特征及聚集规律[J]. *天然气地球科学*, 2012, 23(3): 526–534.
Wang Yu, Su Jin, Wang Kai, et al. Distribution and accumulation of global deep oil and gas[J]. *Natural Gas Geosciences*, 2012, 23(3): 526–534.

[6] 庞雄奇. 中国西部叠合盆地深部油气勘探面临的重大挑战及其研究方法 与意义[J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(5): 517–534.
Pang Xiongqi. Key challenges and research methods of petroleum exploration in the deep of superimposed basins in western China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(5): 517–534.

[7] 朱光有, 张水昌. 中国深层油气成藏条件和勘探潜力[J]. *石油学报*, 2009, 30(6): 793–802.
Zhu Guangyou, Zhang Shuichang. Hydrocarbon accumulation condition and exploration potential of deep reservoirs in China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(6): 793–802.

[8] 马行陟, 庞雄奇, 孟庆洋, 等. 辽东湾地区深层烃源岩排烃特征及资源潜力[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(2): 251–259.
Ma Xingzhi, Pang Xiongqi, Meng Qingyang, et al. Hydrocarbon expulsion characteristics and resource potential of deep source rocks in the Liaodong Bay[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(2): 251–259.

[9] 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.

[10] 吴颜雄, 王璞珺, 边伟华, 等. 松辽盆地深层火山岩储集性能[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(2): 236–247.
Wu Yanxiong, Wang Pujun, Bian Weihua, et al. Poroperm characteristics of deep volcanic reservoirs in Songliao Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 236–247.

[11] 妥进才. 深层油气研究现状及进展[J]. *地球科学进展*, 2002, 17(4): 565–571.
Tuo Jincai. Research status and advances in deep oil and gas exploration[J]. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(4): 565–571.

[12] Reedy H J. Carter-Knox gas field, Oklahoma, in natural gases of North America—Part 3, natural gases in rocks of Paleozoic age[J]. *AAPG Memoir*, 1968, 9: 1467–1491.

[13] Jemison R M Jr. Geology and development of Mills Ranch complex—world’s deepest field[J]. *AAPG Bulletin*, 1979, 63(5): 804–809.

[14] Cerruti S E. Dual-completion design for HP/HT corrosive oil well, Virlafortuna-Treccate Italy[J]. *SPE* 28892, 1994.

[15] Law B E, Clayton J L. The role of thermal history in the preservation of oil at the south end of the Moxa arch, Utah and Wyoming—implications for the oil potential of the southern Green River Basin[C]//Carter L M H. *US Geological Survey research on energy resources—1988, program and abstracts*. USGS Circular, 1987.

[16] Mello U T, Karner G D. Development of sediment overpressure and its effect on thermal maturation; application to the Gulf of Mexico Basin[J]. *AAPG Bulletin*, 1996, 80(9): 1367–1396.

[17] McTavish R A. The role of overpressure in the retardation of organic matter maturation[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1998, 21(2): 153–186.

[18] Hao F, Zou H Y, Gong Z S, et al. Hierarchies of overpressure retardation of organic matter maturation; case studies from petroleum basins in China[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(10): 1467–1498.

[19] O’Brien J J, Lerche I. Impact of heat flux anomalies around salt diapirs and salt sheets in the Gulf Coast on hydrocarbon maturity; models and observations[J]. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, 1988, 38: 231–243.

[20] Lerche I, Lowrie A. Quantitative models for the influence of salt-associated thermal anomalies on hydrocarbon generation, Northern Gulf of Mexico Continental Margin[J]. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, 1992, 42: 213–225.

[21] Mello U T, Karner G D, Anderson R N. Role of salt in restraining the maturation of subsalt source rocks[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1995, 12(7): 697–716.

[22] Pepper A S, Yu Z. Influence of an inclined salt sheet on petroleum emplacement in the Pompano field area, offshore Gulf of Mexico Basin Gulf[C]//Coast Section SEPM Foundation Sixteenth Annual Research Conference, 1995: 197–205.

[23] Galushkin Yu I, Yakovlev G E. Influence of saline deposits on the conditions of petroleum generation in the rocks underlying the salt complex of the northern part of the Precaspian Basin[J]. *Geochemistry International*, 2007, 45(7): 625–637.

[24] Ingersoll R V, Busby C J. Tectonics of sedimentary basins[M]//Busby C J, Ingersoll R V. *Tectonics of sedimentary basins*. Cambridge: MA, Blackwell Science, 1995: 1–151.

[25] Klemme H D, Ulmishek G F. Effective petroleum source rocks of the world: stratigraphic distribution and controlling depositional factors[J]. *AAPG Bulletin*, 1991, 75(12): 1809–1851.

(编辑 张亚雄)