中国致密油形成分布与资源潜力评价

庞正炼，邹才能，陶士振，杨　智，吴松涛
（中国石油勘探开发研究院，北京　100083）

［摘要］　系统分析了国外成熟致密油区的形成条件与典型特征，为研究中国致密油的形成分布与资源潜力评价提供借鉴和参考。研究表明，国外成功致密油区具有“三大形成条件”和“七项基本特征”。三大条件为：大面积分布的致密储层；广覆式分布成熟度适中的腐泥型优质生油层；连续型分布的致密储层与生油岩紧密接触的共生层系。七项基本特征为：圈闭界限不明显；非浮力聚集，水动力效应不明显，油水分布复杂；异常压力，裂缝高产，油质轻；非达西渗流为主；短距离运移为主；纳米级孔喉连通体系为主；规模开采需要水平井技术结合分段压裂技术。从两大方面入手，系统比对了中国致密油的形成条件与典型特征，结果表明中国致密油资源潜力大，具备良好勘探前景。

［关键词］　中国致密油；勘探进展；形成条件；典型特征；资源潜力
［中图分类号］　TE1；TE3　［文献标识码］　A　［文章编号］　1009－1742(2012)07－0060－08

1　前言

致密油是致密储层油的简称，赋存于致密砂岩或致密灰岩等储层中[1]。近年来，随着北美致密油的大规模成功开采，此类以往被忽视的非常规石油资源已经成为各国石油工业争相介入的热点领域。目前，北美是致密油资源开发最多和最成功的地区[2]。在我国，致密油资源潜力也很大，分布范围广，重点包括鄂尔多斯盆地延长组致密砂岩、四川盆地侏罗系、渤海湾盆地沙河街湖相碳酸盐岩、酒泉盆地白垩系泥灰岩、准噶尔盆地二叠系云质岩等[1]。致密油的形成分布和常规石油资源相比具有差异性，其油气聚集的场所已突破圈闭概念[3]。因此，一些基于常规石油的石油地质学认识在解释致密油的形成和分布特征时已不适用。为此，笔者等分析了国外典型致密油区的共性特征，并以此为指导对我国致密油的形成分布与资源潜力进行评价。

2　全球致密油勘探与研究进展

2.1　国外致密油勘探进展

自北美 Bakken 地区借鉴页岩气技术成功开辟致密油新领域之后，致密油已成为北美页岩气之后的又一战略性突破领域。经过不断研究，目前已探明并开发了规模可观的致密油，取得巨大勘探进展。

致密油的发展源于威利斯顿盆地 Bakken 组的石油勘探（见图 1）。20 世纪 50 年代，以 Bakken 组为产层的 Antelope 油田就已建成，但当时以 Bakken 组顶部页岩裂缝型油气藏勘探为主。至 20 世纪末，美国将页岩气的勘探开发理念引入 Bakken 致密油区，通过水平井和水力压裂相结合的技术获得日产油 7 000 t 的高产。至此，致密油在美国首先获得突破。2008 年，Bakken 致密油的规模开发成为当年全球十大发现之一。经评价，Bakken 资源量 566 亿 t（United States Geological Survey，USGS），可采资源量 68 亿 t（Information Handling Services，IHS）。

在 Bakken 致密油巨大成功的激励下，美国于 2008 年发现 Eagle Ford 致密油区。该致密油区面积约 4 万 km^2，埋深介于 914～4 267 m。致密油主要产自与页岩互层的灰岩中，物性比 Bakken 组还要差，孔隙度 2 %～12 %，渗透率小于 0.01 mD。目前，该致密油区内已完钻井超过 600 口。

除上述两个著名致密油产区外，美国还建成了

［收稿日期］　2012－04－15
［作者简介］　庞正炼（1984—），男，浙江台州市人，博士研究生，研究方向为岩性地层油气藏；E－mail：zhenglian20@126.com

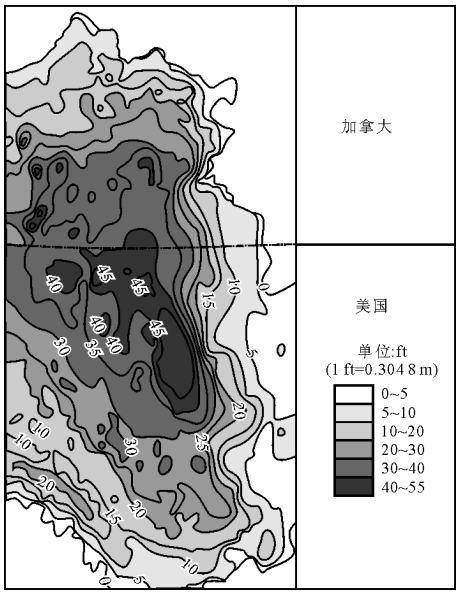

图 1　威利斯顿盆地中 **Bakken** 段 **2a** 油层厚度图[1]

Fig. 1　Reservoir isopach map of middle Bakken 2a layer in Williston Basin[1]

Green River、**Woodbine** 等多个成熟致密油区,并在全国十余个地区开展后续致密油勘探(见图2)。截至目前,北美已在 19 个盆地中发现致密油,主力致密油产层4 套。预计到 2015 年美国年产致密油达到 7 500 万 t,2020 年年产量达到1.5 亿 t,揭示了致密油勘探的有利前景(见图3)。

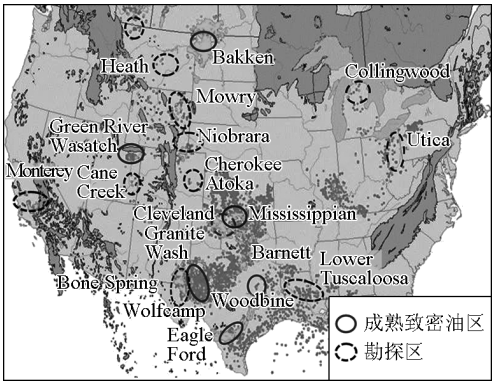

图 2　美国成熟致密油区及探区分布图(据 **IHS**)

Fig. 2　Distribution map of typical areas and exploratory areas of tight oil in USA (from IHS)

2.2　致密油形成条件与典型特征

随着这些典型致密油产区的建成,致密油的基本定义及典型特征也基本取得共识,它是致密储层油的简称,是指赋存于覆压基质渗透率≤0.1 mD 的砂岩、灰岩等致密储层中的石油。致密油只有在特定条件下才能形成,并呈现出一些共性特征。

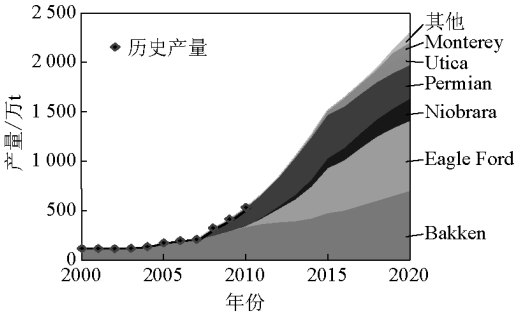

图 3　美国致密油产量预测图(据 **PFC,2011**)

Fig. 3　Forecast of tight oil production of USA (from PFC,2011)

2.2.1　致密油形成三大条件

通过对 Bakken 致密油的系统分析,认为致密油的形成需具备3 个关键条件。

1)大面积分布的致密储层。Bakken 组的 9 个岩性段中有 8 段为致密储层,孔隙度10 % ~13 %,渗透率0.1 ~1 mD [1]。主力储集层段 2a 段为形成于近海陆架—下临滨面环境下的致密白云质粉砂岩,厚度介于 5 ~10 m。Bakken 组海相致密储层大面积展布,促成致密油层在平面上大规模分布,面积达7 万 km^2(见图1)。

2)广覆式分布成熟度适中的腐泥型优质生油层。Bakken 组发育上下两套页岩(见图 4),厚 5 ~12 m,总有机碳含量(TOC)为10 % ~14 %,烃源岩干酪根以 II 型为主,生烃潜力大。烃源岩 R_o 为0.6 % ~0.9 %, 80 ~100 Ma 前达到成熟生烃阶段, 30 Ma 前进入生油高峰期,至今仍处于生油高峰期,热演化程度适中,有利于生油[4,5]。宏观上,优质烃源岩呈全盆展布的特征,以下 Bakken 段泥岩为例,其厚度在全盆范围内普遍介于5 ~12 m。

3)大范围分布的致密储层与生油岩紧密接触的共生层系。Bakken 致密油上、下 Bakken 段烃源岩将中 Bakken 段致密储层夹持其中,形成良好的源储紧邻配置(见图 4)。进入生烃门限后,生烃增压导致烃源岩异常高压的形成,生成的烃类由烃源岩排出直接向相邻储层充注。此外,上 Bakken 段烃源岩呈全盆展布,与广泛分布的储层匹配良好。只有在这种源、储均大面积连续型分布的有利条件下,才能形成连续型分布的 Bakken 致密油区(见图1)。

2.2.2　致密油七项典型特征

在上述 3 个条件下形成的致密油往往表现出 7 方面共性特征(仍以 Bakken 致密油为例)。

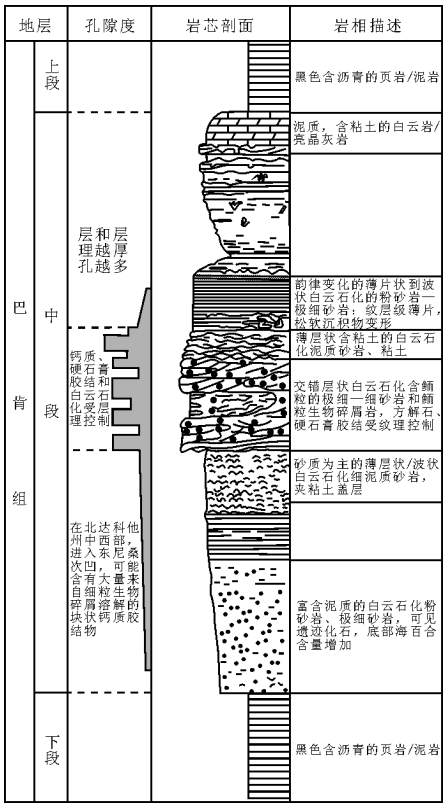

图 4　威利斯顿盆地 **Bakken** 组地层柱状图[1]

Fig. 4　Stratigraphic column of Bakken Formation in Williston Basin[1]

1)圈闭界限不明显。Bakken 致密油区油井全盆散布,石油大面积连片分布(见图 5)[6]。在这种整体含油的背景下局部富集,形成致密油“甜点区”。这种致密油富集区不受构造的明显控制,在构造高、低部位和斜坡部位均有分布。

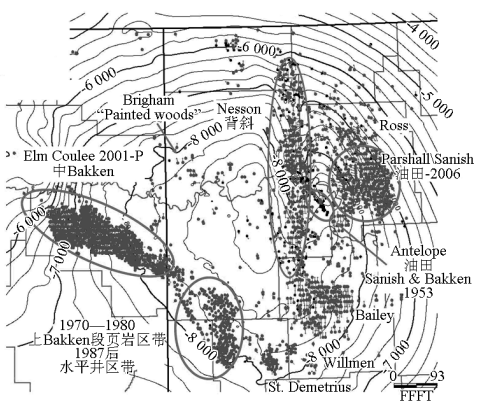

图 5　**Bakken** 致密油区产油井分布图

Fig. 5　Distribution map of production wells in Bakken tight oil play

2)非浮力聚集,水动力效应不明显,油水分布复杂。在致密油储集层中,纳米级孔喉是主要的储集空间,只有与储层接触的烃源岩生烃增压产生的异常高压才能使石油充注入致密储层[7]。在这种非浮力聚集的情况下,致密油区就不存在明确的油水边界,这一特征已被 Bakken 致密油所证实。

3)异常压力,裂缝高产,油质轻。致密油的富集是石油在巨大源储压差下,被“挤压”入紧邻烃源岩的致密储层中,因此必然导致致密油层普遍异常高压。这种富集方式也使重质油更难在同等压力条件下充注入致密储层,仅有轻质油才能富集(Bakken 致密油密度为 0.81 ~ 0.83 g/cm^3)。此外,在 Bakken 致密油的开发过程中还发现,裂缝发育区往往能够相对高产,成为致密油“甜点区”。

4)非达西渗流为主。由于 Bakken 组致密储层覆压状态下的渗透率小于 0.1 mD,这种情况下石油的注入需要有一个启动压力,当运聚动力超过启动压力后,石油才开始向储层中充注,这一充注过程即为“非达西流”。

5)短距离运移为主。由于 Bakken 组致密储层的极低渗透率,致密油的形成与富集需要上下 Bakken 段烃源岩生烃增压产生的异常高压充当运移动力,单凭浮力、水动力等传统成藏动力石油无法在中 Bakken 段致密储层中运移。致密储层中异常高压传递距离又很短,当递减到无法突破致密储层的毛管阻力时,石油就停止运移。

6)纳米级孔喉连通体系为主。在致密储层的基质中,虽然孔喉尺寸进入纳米级,但孔喉系统仍具有连通性,这也是致密油有效聚集的前提条件。

7)规模开采需要水平井技术结合分段压裂技术。Bakken 致密油的突破建立在 2000 年以来大规模水平井钻采和分段压裂技术的基础上。直到 2005 年,随着水平井技术和分段压裂技术在中 Bakken 段的大规模应用,Bakken 致密油产量才急剧增长。

3　中国致密油资源潜力评价

随着北美致密油的持续突破与成熟致密油区的不断建成,我国也在加快对致密油的勘探开发和研究步伐,为致密油区的快速发展做准备。

3.1　中国致密油勘探进展

目前,我国在致密油勘探方面已有良好开端,在 5 个盆地中发现致密油,展示了良好的勘探潜力(见

图6)。其中,鄂尔多斯盆地延长组率先建成了国内第一个工业化生产的成熟致密油区;四川盆地侏罗系的致密储层已有146口累积产量超过万吨的油井,是国内现实的接替致密油区。此外,准噶尔盆地准东平地泉组、渤海湾盆地沙河街组、松辽盆地青山口组、柴达木盆地第三系、酒西盆地白垩系、三塘湖盆地二叠系以及吐哈盆地侏罗系,均具备形成致密油的潜力,为我国致密油的后续发展提供了有力支撑。

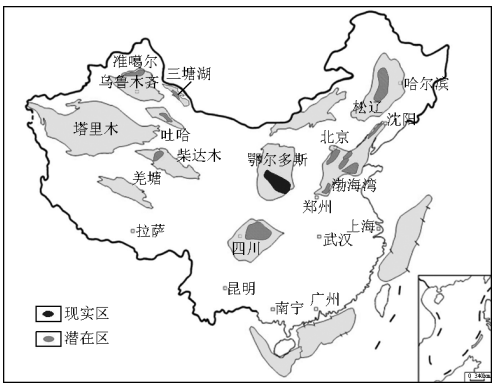

图6 中国主要致密油盆地分布图

Fig.6 Distribution map of tight oil basins in China

3.2 中国致密油形成条件

我国致密油区的构造环境复杂,沉积环境以陆相湖盆居多。与国外致密油区在沉积和构造环境上的差异必然导致中国致密油的形成条件具有致密油共性的同时也具有一些特性。

3.2.1 大面积分布的致密储层

鄂尔多斯盆地延长组致密油主要赋存于长(4+5)、长6、长7、长8、长9油层组等原始湖盆中心的三角洲前缘、砂质碎屑流等类型的致密砂岩中[8~10]。这套致密砂岩储层厚度介于20~80 m,物性普遍较差。邹才能等学者通过对近3.5万个实测物性数据统计得出:长6油层组平均孔隙度是11.25 %,平均渗透率为1.03 mD,属于低孔—超低渗透储层。这些致密储层在横向上呈大面积分布(见图7),多层系叠置后面积可达8万~10万 km^2。

四川侏罗系致密油全区发育5套含油层系,自下而上分别为珍珠冲段、东岳庙段、大安寨段、凉高山组和沙溪庙组。东岳庙段和大安寨段储层以致密介壳灰岩为主,其余储集层段以粉—细砂岩为主。5套储层均为典型的致密储层,介壳灰岩储层孔隙度普遍为0.13 % ~ 3.18 %,基质渗透率普遍小于0.1 mD;致密砂岩储层孔隙度普遍介于1.0 % ~

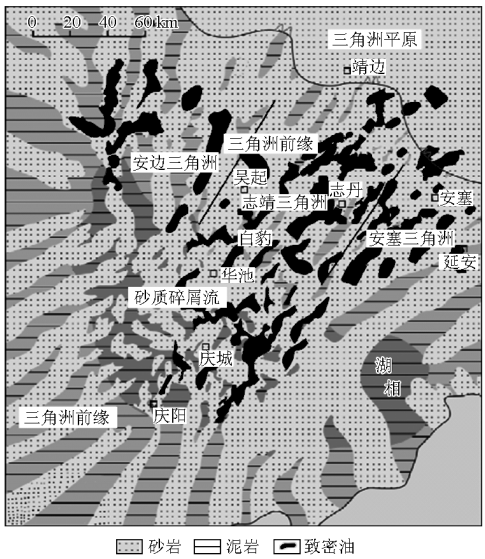

图7 鄂尔多斯中生界致密大油区分布图

Fig.7 Distribution map of tight oil in Ordos Basin

6.0 %,基质渗透率普遍介于0.001 ~0.5 mD。这些致密储层在平面上构成大面积展布的分布格局(见图8和图9)。

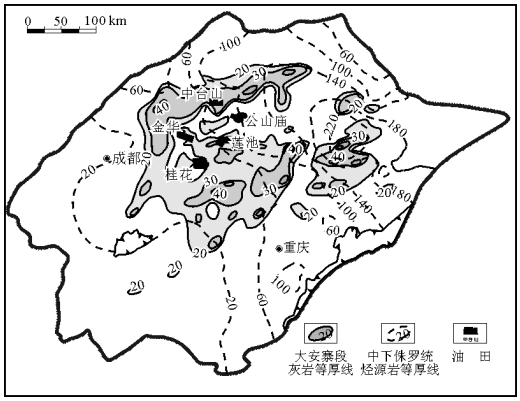

图8 四川侏罗系大安寨段综合评价图

Fig.8 Comprehensive evaluation map of Daanzhai Member, Sichuan Basin

其他致密油勘探区储层物性也普遍差,横向展布面积则各有大小(见表1)。如松辽盆地白垩系储层孔隙度为2 % ~15 %,渗透率0.6 ~1.0 mD;渤海湾盆地沙河街组储层孔隙度为5 % ~10 %,渗透率0.2 ~1.0 mD;准噶尔盆地二叠系储层孔隙度为3 % ~10 %,渗透率<1.0 mD。

3.2.2 广覆式分布成熟度适中的腐泥型优质生油层

鄂尔多斯盆地延长组致密油的烃源岩为形成于最大湖泛期的长7优质烃源岩,构成鄂尔多斯致密油主

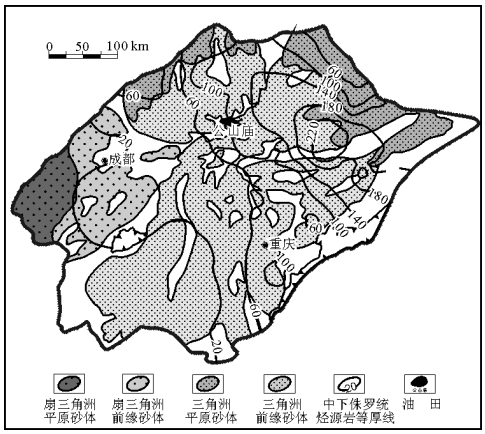

图 9　四川侏罗系沙溪庙组综合评价图

Fig. 9　Comprehensive evaluation map of Shaximiao Formation, Sichuan Basin

力烃源岩。烃源岩 TOC 普遍介于 2 % ~20 %，R_o 介于 0.7 % ~1.1 %，干酪根类型以 I—II_1 型为主，具备较强生油能力[11]。宏观上，这套优质烃源岩大面积展布，厚度普遍介于 30 ~90 m（见图 10）。

四川盆地侏罗系发育 4 套深湖—半深湖相烃源岩，自下而上分别为珍珠冲段、东岳庙段、大安寨段及凉高山组黑色泥、页岩。大安寨段和凉高山组为主力烃源岩层，TOC 普遍为 0.7 % ~3.5 %，R_o 为 0.6 % ~1.4 %。干酪根碳同位素分析结果表明，侏罗系烃源岩干酪根腐泥组分含量为 47 % ~79 %，烃源岩类型主要为偏腐泥混合型[12]。两套主力烃源岩在纵向上累计厚度大，平面上大面积分布（见图 10）。

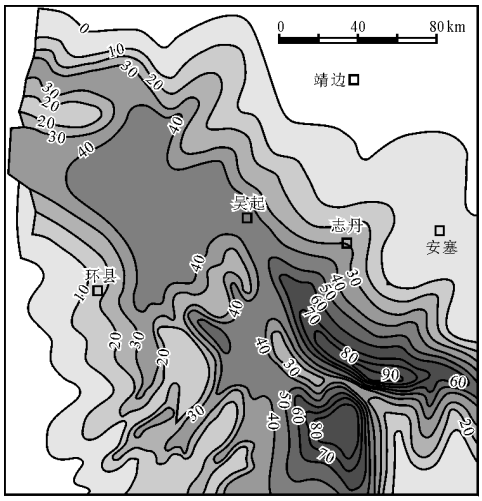

图 10　鄂尔多斯盆地长 7 烃源岩等厚图[1]

Fig. 10　Source rock isopach map of Chang 7, Ordos Basin[1]

其他致密油勘探区的烃源岩基本符合这一条件（见表 1）。如准噶尔盆地二叠系烃源岩 TOC 为 3 % ~4 %，R_o 为 0.6 % ~1.5 %，厚度为 10 ~35 m；渤海湾盆地沙河街组烃源岩 TOC 为 1.5 % ~3.5 %，R_o 为 0.5 % ~2.0 %，厚度为 100 ~300 m。这些烃源岩层与国外致密油烃源岩相比横向分布不稳定，有机碳含量相对低，但巨大的厚度有效地弥补了这两方面的缺陷。

3.2.3　大范围分布的致密储层与生油岩紧密接触的共生层系

鄂尔多斯盆地延长组致密油大面积展布的储集体紧邻广覆式优质烃源岩发育，纵向上叠置连片，在全盆区域内形成良好的源储紧邻配置。烃源岩中生成的油气在源储压差的作用下，弥散状整体运聚，最终形成遍布盆地斜坡、中心的连续型致密大油区（见图 7）。

四川盆地侏罗系的 5 套储层和 4 套烃源岩层相互叠置，在纵向上呈典型的“三明治”状，源储紧邻。准噶尔盆地二叠系、渤海湾盆地沙河街组、松辽中央凹陷区上白垩统、三塘湖盆地二叠系芦草沟组等致密油勘探区的湖相烃源岩和储层也紧密接触，具备源储压差充当石油运聚动力的条件。

通过上述分析发现，中国致密油的形成条件比较有利，具有较大勘探潜力。但与国外 Bakken、Eagle Ford 等典型致密油区相比，中国致密油的形成条件具有以下两点特殊性：a. 致密油储层物性更差，横向分布不稳定，非均质性比国外海相致密储层大，但储层厚度远大于国外致密油区；b. 致密油区的烃源岩有机质含量相对低，但厚度更大（见表 1）。

3.3　中国致密油特征

从目前国内致密油的勘探进展看，我国致密油具备国外成熟致密油区的七项典型特征。

3.3.1　圈闭界限不明确

从鄂尔多斯盆地延长组致密油的勘探开发实践看，该致密油区内的油气大面积连续分布，圈闭边界不明确[13]。从平面上看，油气呈连续或准连续状分布于整个盆地中，含油范围超越构造高部位，涵盖整个斜坡及盆地中心部位（见图 7）。

四川盆地的石油分布也具有这一特征。川中几个油田的分布与构造高部位没有严格对应关系。四川侏罗系油井在盆地中北部广泛分布，东起鲜渡河，西至金华镇，南至合川，北到龙岗，在近 4 万 km^2 范围内，分布有 726 口油井和 224 口低产井[14]。

表 1　中国与北美典型致密油特征对比

Table 1　Comparison of characteristics of tight oil between China and North America

致密油区		鄂尔多斯盆地延长组	准噶尔盆地二叠系	四川盆地侏罗系	渤海湾盆地沙河街组	松辽盆地白垩系	柴达木盆地第三系	酒西盆地白垩系	三塘湖盆地二叠系	吐哈盆地侏罗系	Bakken	Eagle Ford
有利面积/万 km^2		8 ~ 10	6 ~ 8	7 ~ 11	9 ~ 11	8 ~ 9	2 ~ 3	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 1	0.7 ~ 1	7	4
烃源岩	岩性	湖相泥岩	湖相泥岩	湖相泥岩	湖相泥岩	湖相泥岩	湖相泥岩	湖相泥岩	湖相泥岩	湖相泥岩	海相页岩	海相泥灰岩
	厚度/m	20 ~ 110	10 ~ 35	40 ~ 240	100 ~ 300	80 ~ 450	200 ~ 1 200	400 ~ 500	50 ~ 700	30 ~ 60	5 ~ 12	20 ~ 60
	TOC/%	2 ~ 20	3 ~ 4	0.8 ~ 3.0	1.5 ~ 3.5	0.9 ~ 3.8	0.4 ~ 1.2	1.0 ~ 2.5	1 ~ 6	1 ~ 5	10 ~ 14	3 ~ 7
	R_o/%	0.7 ~ 1.1	0.6 ~ 1.5	0.9 ~ 1.4	0.5 ~ 2.0	0.5 ~ 2.0	0.6 ~ 1.8	0.5 ~ 0.8	0.6 ~ 1.2	0.5 ~ 0.9	0.6 ~ 0.9	0.7 ~ 1.3
储层	岩性	粉细砂岩	灰质粉砂岩、灰质白云岩	粉细砂岩、介壳灰岩	粉细砂岩、碳酸盐岩	粉细砂岩	泥灰岩、藻灰岩、粉砂岩	粉砂岩、碳酸盐岩	泥灰岩、灰质白云岩、凝灰质泥岩	粉细砂岩	白云质—泥质粉砂岩	泥灰岩
	厚度/m	20 ~ 80	80 ~ 200	10 ~ 60	100 ~ 200	5 ~ 30	100 ~ 150	100 ~ 300	10 ~ 100	30 ~ 200	5 ~ 55	30 ~ 90
	孔隙度/%	2 ~ 12	3 ~ 10	0.2 ~ 7.0	5 ~ 10	2 ~ 15	5 ~ 8	5 ~ 10	3 ~ 13	4 ~ 10	5 ~ 13	2 ~ 12
	渗透率/mD	0.01 ~ 1.0	<1.0	0.000 1 ~ 2.1	0.2 ~ 1.0	0.6 ~ 1.0	<1.0	<0.1	0.1 ~ 1.0	<1.0	0.1 ~ 1.0	<0.01
原油密度/($g \cdot cm^{-3}$)		0.80 ~ 0.86	0.87 ~ 0.92	0.76 ~ 0.87	0.67 ~ 0.86	0.78 ~ 0.87	—	0.82 ~ 0.94	0.85 ~ 0.90	0.75 ~ 0.85	0.81 ~ 0.83	0.82 ~ 0.87
压力系数		0.75 ~ 0.85	—	1.23 ~ 1.72	1.24 ~ 1.80	1.20 ~ 1.58	1.3 ~ 1.4	1.2 ~ 1.3	1.0 ~ 1.2	0.7 ~ 0.9	1.35 ~ 1.58	1.35 ~ 1.8
资源量/亿 t		35.5 ~ 40.6	15.0 ~ 20.0	15.2 ~ 18	20.5 ~ 25.4	19.0 ~ 21.3	3.6 ~ 4.4	1.8 ~ 2.3	0.9 ~ 1.2	1.0 ~ 1.5	566	—

3.3.2　非浮力聚集,水动力效应不明显,油水分布复杂

鄂尔多斯盆地延长组的勘探开发实践表明,油层中油水关系复杂,无统一油水界限和压力系统(见图11)。油层并不局限在构造高部位,干层或水层可能位于油层之上。沿构造上倾方向,油层可逐渐演变为水层,再向上又演变为油层。

四川盆地侏罗系的油水关系又是另一种特征:川中侏罗系油藏地层水不活跃,绝大部分生产井无水产出。2008 年川中所有产油区块年产水 0.92 万 m^3,历年累产水仅 42.02 万 m^3。

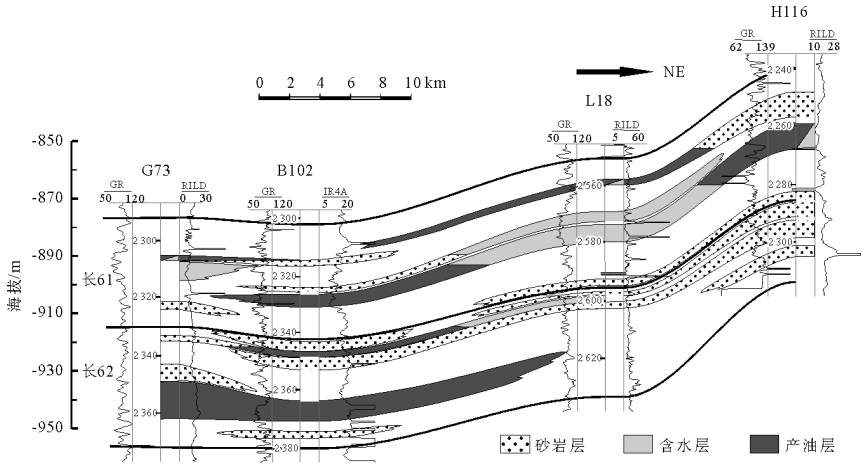

图11　鄂尔多斯盆地长 6 段致密油剖面图

Fig. 11　The section of tight oil of Chang 6, Ordos Basin

3.3.3　异常压力,裂缝高产,油质轻

除鄂尔多斯盆地为异常低压外,其余致密油勘探区均为异常高压,压力系数从1.0~1.8不等(见表1)。裂缝对于四川盆地侏罗系致密油的产量影响明显。在四川侏罗系普遍含油、大规模连续型聚集的背景下,裂缝发育区往往能获得高产,形成"甜点区"。鄂尔多斯延长组和四川盆地侏罗系的致密油油质轻,分别为0.85~0.90 g/cm^{3}和0.76~0.87 g/cm^3。

3.3.4　非达西渗流为主

鄂尔多斯盆地长6油层组的平均渗透率为1.03 mD;四川侏罗系致密灰岩基质渗透率小于0.1 mD,致密砂岩基质渗透率普遍为0.001~0.5 mD。如此低的渗透率必然导致石油在注入储层时以"非达西流"的方式进行渗流。

3.3.5　短距离运移为主

从鄂尔多斯盆地延长组致密油和四川盆地侏罗系致密油分布位置与烃源岩的匹配关系看,两个地区的石油富集区均位于优质烃源岩展布区内(见图7~图9)。石油排出烃源岩后,并未进行横向上的远距离运移,而是就近在紧贴源岩的致密储层中富集。

3.3.6　纳米级孔喉连通体系为主

研究发现长6油层组致密砂岩孔喉半径普遍较小,半径小于0.1 μm的孔喉约占总体孔喉的65.1%,纳米级孔喉是致密砂岩储层中所占比例最高的一级。在四川侏罗系致密储层中,纳米级孔喉所占比例也较大,构成了四川侏罗系致密油的主力储集空间。由于这些结果均通过压汞实验所得,因此表征的孔喉系统均具有连通性。

3.3.7　规模开采需要水平井技术结合分段压裂技术

目前,仅鄂尔多斯盆地延长组致密油区已经将水平井技术结合分段压裂技术应用于工业化开采,并取得良好的经济效益。其他致密油区,包括具有代表性的四川盆地侏罗系,均未实现这一步。这也正是限制四川盆地侏罗系乃至整个中国致密油获得全面突破的瓶颈。

3.4　中国致密油勘探前景

上述分析表明,中国不但拥有鄂尔多斯盆地延长组这样已开发的成熟致密油区和四川盆地侏罗系这种现实的致密油接替区,还拥有大量具备形成致密油条件的盆地。

据最新统计,我国致密油资源潜力巨大(见表1)。如鄂尔多斯盆地延长组的有利勘探面积约为2.5万km^2,地质资源量22亿~25亿t;四川盆地侏罗系的有利勘探面积约3.8万km^2,地质资源量10亿~12亿t;松辽盆地青山口组有利勘探面积约0.5万km^2,地质资源量7亿~8亿t,扶杨油层有利勘探面积约1.2万km^2,地质资源量11亿~12亿t。虽然,我国单个致密油勘探区面积和地质资源量与北美相比都不大,但全国累计致密油有利勘探面积约10.3万km^2,累计地质资源量达80亿~100亿t。

由于国内致密油研究尚处起步阶段,除鄂尔多斯盆地延长组和四川盆地侏罗系外,其他致密油勘探区的相关资料仍不完善,文中对这些地区的分析也较疏浅,要进行更精细的评价还需要后期资料的不断补充。

4　结语

致密油已成为全球油气勘探的热点和亮点领域,一批典型的致密大油区已见雏形,勘探潜力较大。我国的致密油与北美Bakken致密砂岩油、Eagle Ford致密灰岩油均具有相似的形成条件和分布特征。但目前国内不同致密油区的发展程度不同。鄂尔多斯盆地延长组已经进入工业化开发阶段,不断优化技术手段和寻找周围新区是下一步工作重点;对于四川盆地侏罗系,勘探开发工艺技术是主要制约因素,可借鉴国内外致密油勘探的相关理论和技术,主要是水平丛式井组开采方式与多段多簇体积压裂改造技术。对于其他致密油区,需要在致密油形成条件及有利区优选两方面深入研究。

参考文献

[1]　邹才能,陶士振,侯连华,等. 非常规油气地质[M]. 北京:地质出版社,2011.

[2]　林森虎,邹才能,袁选俊,等. 美国致密油开发现状及启示[J]. 岩性油气藏,2011,23(4):25-30.

[3]　邹才能,张光亚,陶士振,等. 全球油气勘探领域地质特征、重大发现及非常规石油地质[J]. 石油勘探与开发,2010,37(2):129-145.

[4]　Webster R L. Petroleum source rocks and stratigraphy of Bakken Formation in North Dakota (in 1984 AAPG Rocky Mountain Section Meeting, Anonymous)[J]. AAPG Bulletin, 1984, 68(7): 593.

[5]　Schmoker J W, Hester T C. Organic carbon in Bakken Formation, United States portion of Williston Basin [J]. AAPG Bulletin, 1983, 67(12): 2165-2174.

[6] Sonnenberg S A, Appleby S K, Sarg J R. Quantitative mineralogy and microfractures in the middle Bakken Formation, Williston Basin, North Dakota [R]. New Orleans: AAPG Annual Convention and Exhibition, 2010.

[7] 邹才能,杨 智,陶士振,等. 纳米油气与源储共生型油气聚集[J]. 石油勘探与开发,2012,39(1):13 -26.

[8] 邹才能,赵文智,张兴阳,等. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布[J]. 地质学报,2008,82(6):813 -825.

[9] 邹才能,陶士振,袁选俊,等. 连续型油气藏形成条件与分布特征[J]. 石油学报,2009,30(3):324 -331.

[10] 邹才能,赵政璋,杨 华,等. 陆相湖盆深水砂质碎屑流成因机制与分布特征——以鄂尔多斯盆地为例[J]. 沉积学报,2009,27(6):1065 -1075.

[11] 张文正,杨 华,杨奕华,等. 鄂尔多斯盆地长7优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J]. 地球科学,2008,37(1):59 -64.

[12] 蒋裕强,漆 麟,邓海波,等. 四川盆地侏罗系油气成藏条件及勘探潜力[J]. 天然气工业,2010,30(3):22 -26.

[13] 邹才能,陶士振,袁选俊,等."连续型"油气藏及其在全球的重要性:成藏、分布与评价[J]. 石油勘探与开发,2009,36(6):669 -682.

[14] 梁狄刚,冉隆辉,戴弹申,等. 四川盆地中北部侏罗系大面积非常规石油勘探潜力的再认识[J]. 石油学报,2011,32(1):8 -17.

Formation, distribution and resource evaluation of tight oil in China

Pang Zhenglian, Zou Caineng, Tao Shizhen, Yang Zhi, Wu Songtao

(Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Petrochina, Beijing 100083, China)

[**Abstract**] The formation conditions and typical characteristics of oversea typical tight oil plays are analyzed systematically, which provides referential basis for the tight oil research in China. According to the study, typical tight oil plays oversea are characterized by "3 formation conditions" and "7 basic characteristics". The 3 formation conditions include wide spread tight reservoir, wide distribution of sapropel-type source rock with moderate maturation, close contact between continuous tight reservoir and high quality source rock. The 7 basic characteristics involve indefinite trap boundaries, non-buoyance accumulation and inapparent hydrodynamic effect as well as complicated distribution of oil and water, abnormal pressure and high production related to fractures, non-Darcy flow, short distance migration, nanometer-scale pore-throat connection system, horizontal wells and staged fracturing as vital technologies in the development of tight oil. Based on these two aspects, the formation conditions and typical characteristics of tight oil in China are studied, revealing the huge potential and good exploration prospect of tight oil in China.

[**Key words**] tight oil in China; exploration progress; forming conditions; typical characteristics; resource potential