

文章编号:1673-8217(2013)05-0001-04

致密油勘探研究现状

董国栋¹,张琴²,严婷¹,陈小东¹,马英¹,党洲涛³

(1. 中国石油长庆油田分公司超低渗透油藏研究中心,陕西西安 710021;

2. 油气资源与探测国家重点实验室·中国石油大学(北京);3. 中国石油长庆油田分公司第一采油厂)

摘要:通过对国内外大量文献的调研,总结了致密油勘探研究现状。研究表明,致密油与页岩油存在差异,研究中应将两者区分开来;广泛分布的致密储层、成熟度适中的优质烃源岩以及烃源岩层与致密储层紧密接触是形成致密油的重要条件;致密油主要发育于前三角洲和重力流沉积环境下形成的细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩以及半深湖-深湖相分布的云质岩和泥灰岩中,其储层物性差,纳米级颗粒内孔、晶间孔和微裂缝在储集空间中占有重要地位;与常规油藏相比,致密油油藏具有生储盖紧邻、受构造圈闭影响小、油藏圈闭界限不明显的特征,原油在运移过程中主要受排烃压力作用以非达西流的方式进行渗流充注,油藏无统一的油气水界面和压力系统,油气水分布无明显规律;国内外对于致密油资源量估算的研究还相对薄弱,目前主要通过盆地模拟法、统计法和类比法对致密油资源量进行评价。

关键词:形成条件;储层特征;成藏特征;研究现状;致密油

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

1 引言

致密油作为一种重要的非常规能源已经引起国内外许多石油工作者的关注。美国已成功利用水平井分段压裂、水压裂等新技术对 Bakken、Barnett 和 Eagle Ford 页岩区带商业化开采^[1],尤其 Bakken 页岩区带日产量达 7 000 t,2000~2010 年已累计产油超过 $2\ 800 \times 10^4$ t^[2]。中国致密油资源也很丰富,预测致密油地质资源量可达 $(70 \sim 90) \times 10^8$ t^[3],目前已证实在鄂尔多斯盆地三叠系延长组致密砂岩、松辽盆地白垩系青山口组粉细砂岩、准噶尔盆地二叠系芦草沟组湖相云质岩、四川盆地川中地区侏罗系大安寨组湖相灰岩等都有丰富的致密油资源^[4](如图 1)。但与国外致密油勘探开发相比,中国仍处于准备阶段,勘探程度和开发技术水平都相对落后。

随着国内外致密油藏勘探开发的进行,致密油地质研究不断深入,目前已在致密油定义及形成条件、储层特征、成藏特点、致密油分布及资源评价方法等方面取得一些成果,为进一步勘探奠定了良好基础。

2 致密油勘探研究现状

2.1 致密油定义

不同学者由于认识和研究目的的不同,对致密

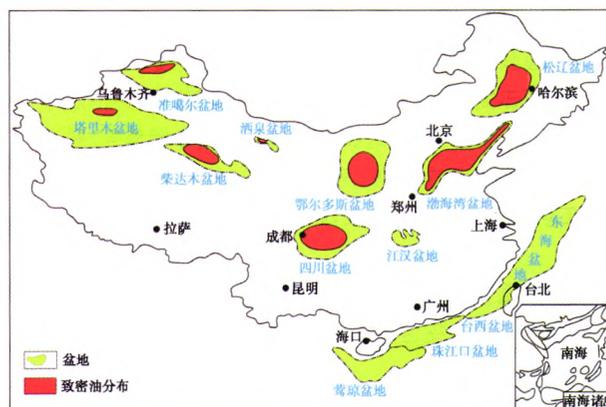


图 1 中国致密油分布图(据贾承造等,2012)

油的定义尤其致密油赋存场所的界定存在差异。目前关于致密砂岩、致密碳酸盐岩中的成熟原油属于致密油这一观点已经取得一致认识,而对泥页岩中的石油是否应归为致密油仍存在分歧。国外许多学者和能源机构为了研究的方便(如计算总资源量和储量),普遍将赋存在页岩或其他低渗透性储层中的成熟原油都归为致密油中^[5-6],而中国学者考虑到

收稿日期:2013-03-28;改回日期:2013-05-09

作者简介:董国栋,硕士,1986年生,2012年毕业于中国石油大学(北京)地质学专业,研究方向主要为沉积学、储层地质学。

基金项目:中国石油基金项目“全球剩余油气资源研究及油气资源快速评价技术”(2008ZX05028-003)。

致密砂岩、致密碳酸盐岩与泥页岩储层的差异,认为致密油主要是指与生油岩层系互层共生或紧邻的致密砂岩、致密碳酸盐岩储集层中聚集的石油资源^[7-9]。

考虑到致密砂岩、致密碳酸盐岩与泥页岩储层的不同以及中国学者的习惯,笔者以为邹才能等^[7]中国学者定义更方便中国致密油勘探开发需要及学者之间的交流,值得推广。

2.2 致密油形成条件

关于致密油形成条件,国内外已经做过大量研究。庞正炼等通过对美国 Bakken 致密油分析,总结认为致密油的形成需要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和致密储层与生油岩紧密接触 3 个重要条件^[10];郭彦如等和庞正炼等分别对鄂尔多斯盆地延长组和四川盆地侏罗系凉高山组、沙溪庙组低渗透致密碎屑岩油藏致进行了研究,研究表明致密油主要分布于致密碎屑岩储层和成熟度适中的腐泥型优质烃源岩层发育且致密储层与生油岩紧密接触的地区^[11-12];陶士振认为致密湖相致密碳酸盐岩储层和广覆式优质烃源岩广泛发育且烃源岩和储层直接接触的地区更易聚集成大的湖相碳酸盐岩致密油藏^[13]。

综上所述可知,无论是碎屑岩沉积环境还是碳酸盐岩沉积环境,致密油的形成应具备广泛发育的致密储层和成熟度适中的优质烃源岩以及烃源岩层与致密储层紧密接触 3 个条件。

2.3 致密油储层特征

2.3.1 岩性特征

粒度细、岩石致密是致密油储层区别于常规储层的重要特征。致密油在碎屑岩和碳酸盐岩储层中

都有分布,其中碎屑岩主要为细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩,如鄂尔多斯盆地三叠系延长组^[11],碳酸盐岩主要有白云岩及云质岩、泥灰岩和泥质灰岩等,如四川盆地中下侏罗统、准噶尔盆地二叠系芦草沟组^[13-14]。这些岩石类型主要发育于三角洲前缘、前三角洲以及半深湖-深湖区(表 1),由于水动力弱,因此磨圆和分选相对较差,泥质含量高。

2.3.2 物性特征

庞正炼等通过对国内 9 个含油气盆地致密油和美国 Bakken、Eagle Ford 致密油储层物性研究表明,致密油储层物性差,一般有效孔隙度在 1%~12%之间,水平渗透率在 $(0.01\sim 1)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 范围内^[10]。造成储层物性差的原因主要有颗粒细、磨圆分选较差、泥质含量高,因此受后期压实作用后,原生孔隙保存差。

2.3.3 微观孔喉特征

致密油储层包括毫米级、微米级和纳米级 3 个级别的储集空间,其中毫米级和微米级孔隙主要有剩余粒间孔和溶蚀孔组成,而纳米级储集空间主要为颗粒内孔、晶间孔和微裂缝,纳米级孔径范围为主体在 300~900 nm 之间^[15],并且纳米级孔在致密油储集空间中占有重要地位^[10]。

目前,国内外关于致密油微观孔喉特征实验研究还比较少见。李卫成等通过恒速压汞技术对鄂尔多斯盆地上三叠统延长组致密油储层微观孔喉特征进行了研究,认为致密油储层平均孔隙半径与渗透率无相关性,平均喉道半径与渗透率具有正相关性,孔喉半径比与渗透率有一定的负相关性;随着进汞量的增加,进汞总量由大喉道孔隙所控制变为由喉道来主导^[16]。

表 1 中国典型致密油盆地储层特征

典型盆地	目的层	储层岩性	储层物性		主要储集空间类型	主要沉积环境	烃源岩
			有效孔隙度/%	水平渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$			
鄂尔多斯盆地	上三叠统延长组	细砂岩、粉砂岩	2~12	0.01~1	残余粒间孔、粒内溶孔(长石溶孔及岩屑溶孔)、粒间溶孔(沸石、碳酸盐及杂基溶孔)、晶间孔、微裂缝	前三角洲、重力流沉积	湖相泥岩
准噶尔盆地	二叠系	粉细砂岩、泥晶-微晶白云岩、泥质组成的混积岩	3~10	<1	剩余粒间孔、溶蚀孔、晶间孔、晶内溶孔、微裂缝	前三角洲、深湖-半深湖相	湖相泥岩
四川盆地	侏罗系	介壳灰岩、粉砂岩、细砂岩	1~3.7	0.0001~2	残余粒间孔、粒间溶孔、粒间溶洞、晶间溶孔、晶内溶孔、微裂缝	前三角洲、深湖-半深湖相	湖相泥岩
三塘湖盆地	中二叠统芦草沟组	泥灰岩、灰质白云岩、灰质(白云质)泥岩、凝灰质泥岩	2~7	0.2~2	晶间溶孔、晶内溶孔、缝内溶孔、微裂缝	深湖-半深湖相	湖相泥岩

2.4 致密油成藏特征

(1)源储盖关系。与常规油藏相比,致密油油藏具有生储盖一体或紧邻的特点,尤其生储紧密相贴^[10]。造成这一特征的主要原因是致密油储层物性差,因此只有当致密储层与烃源岩层一体或紧邻时,生油层生成的致密油才能靠两者之间的压差进入致密的储层中,完成充注。

(2)圈闭特点。许多学者通过对国内外致密油藏的研究发现,致密油分布受构造圈闭影响小,从构造上看,致密油可以分布于高部位,同样也出现在低部位,即在背斜、向斜和斜坡部位均可含油;从平面上看,致密油可以出现于盆地的斜坡,也可以出现于盆地的中心,致密油油藏圈闭界限并不明显^[17-18]。

(3)运移特征。由于生储紧密相邻,因此石油排出烃源岩后并未长距离运移,而是直接聚集于邻近的致密储层中,在运移过程中不受浮力的影响^[19],主要与排烃压力有关。由于致密油储层的渗透率低,一般小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,石油的充注是以非达西流的方式进行渗流。

(4)油气水关系。庞正炼等、梁狄刚等研究表明,致密油油藏无统一的油气水界面和压力系统^[10,20],油气水易共存,从构造的低部位到构造高部位,油气水并没有像常规油藏一样从水-油-气的分布规律,其油层可以位于水层的上方,也可以位于水层的下方。

2.5 致密油藏分布

通过以上致密油藏特征分析和目前国内外致密油勘探成果表明,致密油藏主要分布于前三三角洲沉积区、重力流沉积区和半深湖-深湖碳酸盐岩沉积区(如表1)。

2.5.1 前三三角洲沉积区

前三三角洲位于三角洲前缘前方,是三角洲沉积体系中分布最广、沉积最厚的地区。沉积物完全在海/湖平面以下,其大部分地区基本不受波浪的影响^[21]。从三角洲前缘搬运来的粉细砂岩与半深湖-深湖相优质烃源岩互层或紧邻,为致密油的形成创造了良好条件。

2.5.2 重力流沉积区

重力流在中国陆相湖盆中广泛发育^[22-23]。尤其近些年来砂质碎屑流研究新进展,为深水致密油勘探提供了理论依据^[24-25]。李相博等通过鄂尔多斯盆地湖盆中心深水区延长组重力流研究发现,重力流主要分为砂质碎屑流、经典浊积岩和滑塌岩3种沉积物重力流及牵引底流,其中砂质碎屑流和

浊流沉积相对分布面积广,厚度大^[26],在垂向上与烃源岩一体或直接接触,有利于致密油的聚集。

2.5.3 半深湖-深湖碳酸盐岩沉积区

湖相碳酸盐岩主要分布于湖盆构造相对稳定、水体扩张期半深湖-深湖亚相中,在潮湿气候条件下则主要形成碳酸钙沉积,在干旱气候条件下主要形成蒸发盐而变成盐湖环境^[27]。庞正炼等通过对国内外致密油油藏的调研发现,致密油主要分布于白云岩及白云石化岩类、泥灰岩和泥质灰岩中^[10],尤其咸化湖泊白云岩及白云石化岩类与烃源岩互层分布,成为最为有利致密油发育区^[28]。

2.6 致密油资源评价方法

对于常规油气资源的评价,国内外已经有一套相对成熟的评价方法^[29],而对于致密油资源量的估算研究明显不足。郭秋麟等通过对国内外非常规油气资源评价方法研究表明,目前国内外对于致密油资源评价方法存在差异,国内主要采用盆地模拟法、统计法对致密油资源量进行评估,而国外主要通过统计法(资源空间分布预测法)和类比法对致密油资源量进行评价^[30]。

3 结论及建议

(1)致密油是一种重要的非常规能源,中国致密油资源潜力大,应加快勘探开发步伐。

(2)致密砂岩、致密碳酸盐岩中的致密油与泥页岩中的页岩油存在差异,研究中应将两者区分开来。

(3)形成致密油需具备广泛分布的致密储层、成熟度适中的优质烃源岩以及烃源岩层与致密储层紧密接触3个重要条件,因此致密油主要发育于前三三角洲和重力流沉积环境下形成的细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩以及半深湖-深湖相分布的云质岩和泥灰岩中,其储层物性差,纳米级颗粒内孔、晶间孔和微裂缝在储集空间中占有重要地位。

(4)致密油油藏具有生储盖紧邻、受构造圈闭影响小、油藏圈闭界限不明显的特征,原油运移过程主要受排烃压力作用并以非达西流的方式进行渗流充注,油藏无统一的油气水界面和压力系统,油气水分布规律性差。

(5)国内外对于致密油资源量估算的研究相对薄弱,目前主要通过盆地模拟法、统计法和类比法对致密油资源量进行评价。

参考文献

[1] 庞长英,连军利,吴一凡,等. 美国页岩油气开发技术

- 及对我国的启示[J]. 石油地质与工程, 2012, 26(5): 62-66.
- [2] 景东升, 丁锋, 袁际华, 等. 美国致密油勘探开发现状、经验及启示[J]. 国土资源情报, 2012, (1): 18-19.
- [3] 贾承造, 郑民, 张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(2): 129-136.
- [4] 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.
- [5] The unconventional oil subgroup of the resources & supply task group. Potential of North American Unconventional oil resource[M]. Working Document of the NPC North American Resource Development Study, 2011: 8-11.
- [6] National Energy Board. Tight oil developments in the Western Canada sedimentary basin [EB/OL]. [2011-12]. <http://www.neb-one.gc.ca/clf-nsi/rnrgynfmtn/nrgyrprt/1/tghtdv-lpmntwcsb2011/tghtdvlpmntwcsb2011-eng.html>.
- [7] 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.
- [8] 李玉喜, 张金川. 我国非常规油气资源类型和潜力[J]. 国际石油经济, 2011, (3): 61-67.
- [9] 赵靖舟. 非常规油气有关概念、分类及资源潜力[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(3): 393-403.
- [10] 庞正炼, 邹才能, 陶士振, 等. 中国致密油形成分布与资源潜力评价[J]. 中国工程科学, 2012, 14(7): 60-67.
- [11] 郭彦如, 刘俊榜, 杨华, 等. 鄂尔多斯盆地延长组低渗透致密岩性油藏成藏机理[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(4): 417-425.
- [12] 庞正炼, 邹才能, 陶士振, 等. 四川盆地侏罗系致密油的形成条件[J]. 中国地球物理, 2012, (2): 141-142.
- [13] 陶士振, 邹才能, 庞正炼. 湖相碳酸盐岩致密油形成与聚集特点-以四川盆地中部侏罗系大安寨段为例[J]. 中国地球物理, 2012, (2): 138.
- [14] 匡立春, 唐勇, 雷德文, 等. 准噶尔盆地二叠系咸化湖相云质岩致密油形成条件与勘探潜力[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(6): 657-667.
- [15] 邹才能, 朱如凯, 白斌, 等. 中国油气储层中纳米孔首次发现及其科学价值[J]. 岩石学报, 2011, 27(6): 1857-1864.
- [16] 李卫成, 张艳梅, 王芳. 应用恒速压汞技术研究致密油储层微观孔喉特征-以鄂尔多斯盆地上三叠统延长组为例[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(6): 60-65.
- [17] 邹才能, 陶士振, 杨智, 等. 中国非常规油气勘探与研究新进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(4): 312-322.
- [18] 赵靖舟, 白玉彬, 曹青, 等. 鄂尔多斯盆地准连续型低渗透-致密砂岩大油田成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 811-826.
- [19] 常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望-以中国致密油和致密气为例[J]. 石油学报, 2012, 33(2): 173-187.
- [20] 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.
- [21] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [22] 鲜本忠, 万锦峰, 姜在兴, 等. 断陷湖盆洼陷带重力流沉积特征与模式: 以南堡凹陷东部东营组为例[J]. 地学前缘, 2012, 19(1): 121-134.
- [23] 王颖, 王晓州, 王英民, 等. 大型坳陷湖盆坡折带背景下的重力流沉积模式[J]. 沉积学报, 2009, 27(6): 1076-1083.
- [24] 李云, 郑荣才, 朱国金, 等. 沉积物重力流研究进展综述[J]. 地球科学进展, 2011, 26(2): 157-164.
- [25] 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.
- [26] 李相博, 付金华, 陈启林, 等. 砂质碎屑流概念及其在鄂尔多斯盆地延长组深水沉积研究中的应用[J]. 地球科学进展, 2011, 26(3): 286-294.
- [27] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [28] 贾承造, 邹才能, 李建忠, 等. 中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J]. 石油学报, 2012, 33(3): 343-350.
- [29] 金之钧, 张金川. 油气资源评价方法的基本原则[J]. 石油学报, 2002, 23(1): 19-23.
- [30] 郭秋麟, 周长迁, 陈宁生, 等. 非常规油气资源评价方法研究[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(4): 12-19.

编辑: 吴官生