

中国致密油资源潜力与勘探开发前景

廖群山¹⁾, 何文渊¹⁾, 孔 骅²⁾

1) 中国石油天然气集团公司咨询中心, 北京市, 100724;

2) 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 廊坊市, 065007

致密油是一种非常规石油资源, 赋存在岩性致密的碎屑岩、碳酸盐岩等储层中, 多与生油岩互层或紧邻生油岩, 属于源内或近源聚集^[1]。这类致密储层物性差, 孔隙度一般小于 10%, 地面渗透率一般小于 1mD, 自然产能低, 用常规的技术方法难以有效勘探开发^[2]。2008 年以来, 随着水平井及分段压裂技术的日臻成熟和国际油价的逐渐回升走高, 北美地区 Williston 盆地 Bakken 组、Maverick 盆地 Eagle Ford 组等致密油勘探开发取得突破^[3,4,5], 出现犹如“井喷”式的生产热潮, 2012 年美国致密油产量已达到 $7000 \times 10^4 \text{t}$, 致密油的规模开发和近几年的“页岩气革命”导致美国非常规油气产量快速上升, 美国因此有可能实现油气能源自给自足, 从而改变世界能源供需格局。随着我国石油对外依存度的不断走高和常规石油勘探开发程度的不断提高, 致密油等非常规石油的资源潜力、发展前景以及在油气能源接替中的战略地位正成为人们关注的热点。

在我国陆上的四川、鄂尔多斯、准噶尔、松辽、渤海湾、柴达木、塔里木等大型盆地和三塘湖、酒泉、三水等中小型盆地的第三系、白垩系、三叠系、二叠系和志留系地层中都发现了赋存在致密碎屑岩和碳酸盐岩之中的非常规石油聚集。其中, 四川、鄂尔多斯、准噶尔、松辽盆地致密油具有大面积分布特征。

四川盆地致密油分布于面积近 $4 \times 10^4 \text{km}^2$ 的川中地区, 主力产油层为内陆河湖相沉积的中下侏罗统大安寨段介壳灰岩和凉高山、沙溪庙组粉~细砂岩, 单层厚度 1~20m, 累计厚度 5~40m; 孔隙度一般 1~6%, 渗透率一般 0.01~1mD。储层的裂缝+孔隙双重介质特征明显, 基质孔隙含油, 主要储集空间为粒间溶孔(洞)、晶(粒)内溶孔和残余粒

间孔等。在 10 口新井生油岩密集取样和系统地化分析的基础上, 测算四川盆地侏罗系致密油远景资源量为 $39 \times 10^8 \text{t}$ 。

鄂尔多斯盆地致密油纵向上分布在上三叠统延长组长 6~长 7 段储层中, 平面上主要分布于长 6~长 7 期湖盆中部。储层岩性以细砂岩为主, 孔隙度一般 4~10%, 渗透率多小于 0.3mD。其中, 长 7 段储层与烃源岩互层共生, 石油充注程度高, 含油饱和度高达 70%以上。储集空间以粘土矿物晶间孔、长石溶蚀孔、粒间残余孔为主。目前在鄂尔多斯盆地已发现长 6~长 7 段致密油含油面积 1200km^2 , 估算资源量约 $20 \times 10^8 \text{t}$ ^[6]。

准噶尔盆地中下二叠统普遍发育一套暗色泥质岩与云质岩互层为主的陆缘近海湖相沉积地层, 烃源岩与云质岩致密储层直接接触, 在盆地的东部和博格达山前形成多个源内致密油聚集区。其中, 盆地东部的吉木萨尔凹陷芦苇沟组致密油分布面积约 1300km^2 , 生油岩为高丰度的泥岩(TOC 平均 6.1%)和碳酸盐类(TOC 平均 3.2%); 储层岩性为湖相沉积的云质粉细砂岩, 单层厚度 10~20m, 累计厚度 80~120m; 储集空间以残余粒间孔、溶蚀孔和微裂缝为主, 孔隙度一般 6~16%, 渗透率多小于 1mD, 含油饱和度高 70~95%。根据云质岩储层分布面积估算吉木萨尔凹陷致密油资源量为 $7 \times 10^8 \text{t}$ 。

松辽盆地致密油分布在中央坳陷区的齐家-古龙凹陷和长岭凹陷, 主要与晚白垩世青山口、嫩江组两套优质烃源岩有关, 青山口组高台子致密砂岩油和嫩江组泥页岩油分别夹持在青山口组泥质烃源岩之中, 为源内聚集; 泉头组扶杨油层致密砂岩油位于青山口组泥质烃源岩之下, 属近源聚集。致

密油储集体主要为青山口组前三角洲薄层粉细砂岩和泉头组浅水三角洲砂岩,主要储集空间为残余粒间孔、溶蚀孔和纳米孔,平均孔隙度 6~8%,平均渗透率一般小于 1mD。综合评价结果,松辽盆地青山口、泉头组致密分布面积约 $(1.5\sim 2)\times 10^4\text{km}^2$,估算资源量大于 $15\times 10^8\text{t}$ [7]。

根据上述四个盆地以及渤海湾、柴达木、塔里木、三塘湖、酒泉、三水等盆地致密油的形成条件和分布特征分析,我国致密油资源比较丰富,估算远景资源量大于 $100\times 10^8\text{t}$,是重要的后备资源。在上世纪 50 年代末~60 年代以来,我国相继在四川、松辽、渤海湾、柴达木等盆地发现致密油,也开展了相关的勘探开发工作,但一直未能形成规模储量和产量场面,主要原因是储层致密,单井产量低,尚未有针对性的储层增产改造工艺技术,效益差。

2008 年以来,北美 Bakken 致密油通过水平井分段压裂技术的推广应用,在孔隙度平均 5%、渗透率平均 0.4mD 的致密油层中实现了规模效益开发,为我国致密油勘探开发提供了非常有意义的启示,即非常规油气资源要用非常规的研究思路去认识,用非常规的技术手段去攻克。开创我国致密油勘探开发的新局面,必须从研究着手,深化资源、储层、油藏和技术条件,加强致密储层的孔隙结构特征、渗流机理和压裂地质等研究,同时,适当加大投入,建立先导性试验区,攻克储层增产改造等

关键工艺技术,有效提高单井产量和经济效益。

近两年我国相继在四川、鄂尔多斯、松辽、准噶尔、渤海湾等盆地开展了致密油勘探开发和研究工作,设立多个致密油示范工程,完成了一批水平井分段压裂先导性试验,已有多口井测试获得日产 50m^3 甚至 100m^3 以上的高产油流,投入试采的井日产油量稳定在 10t 左右,效果非常显著。随着地质研究的深入,我国将发现更多的致密油资源并得到落实;随着增产改造瓶颈技术的逐步攻克和推广应用,致密油在我国石油储量和产量构成中的比例将逐步增加,为我国能源安全发挥积极的作用。

参考文献 / References

- [1]童晓光.非常规油的成因和分布[J].石油学报,2012,33(增刊 1): 20-26.
- [2]廖群山,胡华,林建平,等.四川盆地川中侏罗系致密储层石油勘探前景分析[J].石油与天然气,2012,32(54): 815~822.
- [3]Peggy Williams. Bakken Shale: The Play Book, US overview. Hart Energy Publishing [J].December, 2008: 2~15.
- [4]Peggy Williams. Bakken Shale: The Play Book, Canadian Bakken overview. Hart Energy Publishing [J].December, 2008: 16~21.
- [5]NETL. Bakken - The Biggest Oil Resource in the United States?. NETL Winter 2011 Issue: 1~20.
- [6]邹才能,朱如凯,吴送涛,等.常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望[J].石油学报,2012,33(2):173~187.
- [7]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.