

# 致密油储层评价技术研究进展

张晓刚

大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712

**摘要:** 非常规资源在全球油气勘探开发中的地位日渐凸显, 致密油作为非常重要而且极为现实的非常规资源类型, 其储层评价评价方法和技术的研究也开始得到广泛重视。在明确致密油概念的基础上, 从发展历程、技术现状、相关专家与机构四个方面介绍了致密油储层评价的发展及现状, 为相关研究人员的深入研究提供指引。

**关键词:** 致密油; 储层评价; 研究进展

## Research progress of tight oil reservoir evaluation technology

Xiaogang Zhang

Research Institute of Exploration and Development, Daqing Oilfield Company Limited, Daqing heilongjiang 163712

**Abstract:** Unconventional resources play an increasingly prominent role in global oil and gas exploration and development. Tight oil, as a very important and realistic type of unconventional resource, has attracted extensive attention in the study of reservoir evaluation methods and techniques. Based on clarifying the concept of tight oil, this paper introduces the development and current status of tight oil reservoir evaluation from four aspects: development history, technology status, relevant experts and institutions, and guides for relevant researchers to conduct in-depth research.

**Keywords:** tight oil; reservoir evaluation; research progress

### 1 致密油概念

致密油 (tight oil) 作为一般性描述词在 20 世纪 40 年代就出现在 AAPG Bulletin 杂志中, 用于描述含油的致密砂岩<sup>[1]</sup>。但作为一个专门术语, 代表一种非常规资源, 并有明确的定义则是近几年的事。各国致密油研究机构及学者针对本国致密油特点提出了不同的定义, 目前比较公认的致密油是指以吸附或游离状态赋存于富含有机质且渗透率极低的暗色页岩、泥质粉砂岩和砂岩夹层系统中的自生自储、连续分布的石油聚集, 即泛指蕴藏在低孔低渗 (有效渗透率  $\leq 0.1\text{mD}$ ) 的致密含油层中的石油资源, 开发需要使用与页岩气类似的水平井和水力压裂技术。

随着致密油开发的兴起, 致密油储层评价技术开始得到广泛重视。致密油储层在矿物组分、成岩演化、储层微观孔隙结构等方面明显不同于常规储层及一般低渗透储层, 常规分析测试手段无法准确测量和表征。

### 2 致密油储层评价技术研究现状

#### 2.1 文献检索分析

分别对“储层评价”、“致密油”及“致密油储层评价”相关文献进行了检索。可以看出:

(1) 储层评价文献数量较多, 大致经历了两个研究高峰期: 一是 20 世纪 90 年代, 从文献内容看这一时期主要是随着水平井的快速发展而发展的, 用水平井资料进行储层评价的相关文献增多, 带动储层评价研究进入一个研究热潮。二是 2006 年以后, 随着页岩气、致密油等非常规资源的开发, 致密油储层评价研究进入一个新高潮。

(2) 致密油相关文献从 2007 年左右开始增多, 其背景主要是美国页岩气革命后, 随着页岩气开发的国际化以及天然气价格的下降, 页岩油开发备受关注, 把页岩气开发的新技术和经验引入了开发曾被认为没有商业开采价值的低渗透页岩及相关层系中的石油资源 (即致密油)<sup>[2]</sup>。

(3) 致密油储层评价的相关文献整体较少, 但文献数量整体呈增长态势, 反应出了致密油储层评价的研究热度。

### 3 技术现状

#### 3.1 致密油储层评价的研究领域

为了了解致密油储层评价的研究情况,利用EI、Onepetro、Scopus等数据库进行了系统的检索分析。从文献数量统计来看,美国、中国和加拿大的研究文献位居前列。从文献内容看,研究最多的是孔隙结构,其中:

(1) 美国的研究较为系统,从宏观地质/岩石力学、石油沉积,到微观孔隙结构,以及岩石力学对孔隙结构的影响等方面的文献较多;

(2) 加拿大也是侧重从石油沉积到微观孔隙结构进行系统研究<sup>[3]</sup>;

(3) 中国侧重利用吸附法研究孔隙结构,石油沉积和气体渗透率方面的研究很少。

对致密油储层评价的文献进行分析归类,可大致划分出孔隙研究、力学研究、石油沉积等10类。结合文献内容进一步分析,可将研究领域分为地质描述、孔隙结构分析、流体流动分析、流体-岩石相互作用和测井分析五个子领域。

#### 3.2 致密油储层孔隙结构研究现状

根据文献检索可以看出,致密油储层孔隙结构描述方法主要有压汞法、低压吸附法(N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>)<sup>[4]</sup>、小角/超小角中子散射法(SANS/USANS)和观测法等。观测法是利用高分辨率扫描电镜,加上氩离子抛光技术结合场发射成像,包括场发射扫描电镜(FESEM)、聚焦离子/电子双束显微电镜(FIB-SEM)等。

从近期文献看,致密油储层评价的典型研究机构是加拿大卡尔加里大学,代表人物是Clarkson, C.R。他们对加拿大西部Montney和Bakken致密油储层进行了从地质力学表征到岩石物理表征的系统研究<sup>[5]</sup>,研究内容包括:①用有限数据描述孔隙结构(孔隙度、孔径分布)和流体运移(渗透率)特征;②研究细粒致密储层的岩石物理特征与地质力学特征之间的相互关系;③分析不同地质因素对孔隙度、孔径分布和渗透率的影响。

研究方法有:岩石热解法、沥青反射率法、氦气测比重法、低压吸附法、小角/超小角中子散射法、压力延迟剖面渗透率法、脉冲延迟与碎岩气渗透率法、力学硬度测试等。

通过系统研究,加拿大卡尔加里大学的项目组提出了致密油储层评价的两个关键要素<sup>[6]</sup>:一是评价流程;二是评价所用数据的获取方法(表1)。

表1 主要研究方法

储层性质	研究方法
孔隙度	氦气膨胀、压汞毛细管压力、核磁共振、测井分析(岩心校正)
渗透率	岩心分析:稳态与非稳态(压力-脉冲延迟)、压汞毛细管压力 试井分析:(压裂前与压裂后)注入压降试井、诊断压裂注入测试、压裂后流量与恢复测试;生产分析:速度瞬态分析、模拟历史拟合
孔隙压力	(压裂前与压裂后)注入压降试井
含水饱和度	岩心萃取、毛管压力、测井分析(用室内电性测量)
游离气与吸附气	解吸附罐测试&吸附等值线、校正测井分析
总有机碳(TOC)	用Leco和RockEval测TOC(计算得出)
热成熟度	镜质体反射率(Ro)、RockEval(计算得出)
岩石组成	X射线衍射、傅里叶变换红外视点计数、微区元素分析、电子显微镜
岩石力学性质	岩心测量、测井推导(偶极声波(DSI))
裂缝与闭合应力	小型压裂测试、DFIT、基于测井(DSI)的岩心校正
流体特性	泥浆录井、产出气与产出水分析(PVT性质)
温度	裸眼测井、生产测井
水力压裂性质	研究方法
裂缝长度与传导性(静态)	压裂后净压力分析(水力裂缝模型)、压裂后流量与恢复
裂缝长度与传导性(流动)	速度瞬态分析
裂缝长度、高度和几何形状	微地震、倾斜度测量、4D地震

此外,还对加拿大西部致密油储层形成了全面认识,成果主要有:①记录了研究区地层地质化学、岩相学和岩石物理表征<sup>[7]</sup>;②在研究区首次应用剖面渗透率试验和力学硬度测试;③在“原地”应力下测量了基质/构造渗透率;④对比了不同的非稳态气体渗透技术;⑤对研究区进行了地质力学精细表征(cm尺度);⑥掌握了研究区岩石物理和地质力学特征的相关性。

加拿大西部的致密油储层处于评价研究阶段,研究过程中遇到的一系列问题及取得的经验成果可以为大庆油田的致密油储层评价提供参考。

### 4 结论

(1) 从文献数量统计来看,美国、中国和加拿大的研究文献位居前列。其中,美国的研究较为系统,从宏

观地质/岩石力学、石油沉积,到微观孔隙结构,以及岩石力学对孔隙结构的影响等方面的文献较多。

(2)通过文献检索分析可以看出,致密油储层孔隙结构描述方法主要有压汞法、低压吸附法( $N_2/CO_2$ )、小角/超小角中子散射法(SANS/USANS)和观测法等。观测法是利用高分辨率扫描电镜,加上氩离子抛光技术结合场发射成像,包括场发射扫描电镜(FESEM)、聚焦离子/电子双束显微电镜(FIB-SEM)等。

(3)致密油储层评价的两个关键要素分别是评价流程和数据获取方法。

#### 参考文献:

[1]美国原油产量,进出口[EB/OL].美国能源信息署.[2012-05].[http://www.eia.gov/dnav/pet/pet\\_move\\_wkly\\_dc\\_nus-z00\\_mbbld\\_4.htm](http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_move_wkly_dc_nus-z00_mbbld_4.htm).

[2]新兴资源回顾:美国页岩气和页岩油储量[M].美国能源信息署,2011

[3]加拿大西部沉积盆地致密油开发[M].国家能源委员会,ISSN 1917-506x,2011.

[4]C.R.Clarkson等人,加拿大西部非常规轻质油区产量分析[R].SPE 149005,2011.

[5]C.R.Clarkson等人,采用低压吸附法和压汞法在致密气粉砂岩油藏进行纳米空隙结构分析及渗透率预测,SPE油藏评价与工程,2012

[6]C.R.Clarkson等人,利用USANS/SANS、气体吸附和压汞法对北美页岩气藏的孔隙结构进行表征,Fuel,103(2013)606-616

[7]C.R.Clarkson等人,非常规气井生产数据分析:理论与实践综述[R].国际煤炭地质杂志,2013