

·油气地质·

# 油藏类型与属性的动力学涵义

郝雪峰,尹丽娟

(中国石化胜利油田分公司地质科学研究院,山东 东营 257015)

**摘要:**油藏的各种属性是成藏动力学环境的体现,具有明确的单一或多重动力学含义。通过分析油柱高度、油藏压力、含油饱和度、油藏类型等油藏属性与不同动力形式的关系,明确了不同油藏属性与成藏动力的内在联系。结果表明:油柱高度、油藏压力与不同的动力形式及聚集过程有关;含油饱和度也与动力形式密切相关,是不同动力学形式的统一反映;油藏类型可随成藏动力而发生变化,表现出不同于圈闭类型的存在样式。不同油藏属性的量化特征可以准确反映成藏动力的类型和量化特征。油藏属性的变化形式在盆地中与不同的区带和油藏类型的演变形式具有明显的关联性,从宏观上反映了盆地成藏动力系统的特征和演变。以不同类型油藏属性及其演变为基础,对成藏动力、油藏属性及成藏机制的深入分析,形成了基于盆地成藏动力学环境及圈闭类型分布特征的油藏预测模式。

**关键词:**油藏属性类型演化动力学涵义

**中图分类号:**TE112.32

**文献标识码:**A

**文章编号:**1009-9603(2013)02-0001-04

含油气盆地地质研究主要包括构造、沉积、成藏等方面,其中沉积盆地分析在研究方法、思路、体系上相对较完整,在关于沉积相概念及其研究方法中,从沉积构造等沉积微观属性出发,研究所对应的沉积环境与流动样式一直被视作最重要的研究基础<sup>[1]</sup>。而在成藏动力学研究中,重视的往往是盆地宏观成藏系统的特征和划分等,在油藏微观属性方面,往往局限于统计学中的应用,特别是对微观属性的动力学涵义尚未进行深入研究。然而,如同沉积学研究中,微观的沉积构造可以反映宏观的动力学环境一样,油藏的微观属性同样是成藏动力学环境的体现,都具有明确的单一或多重的动力学含义。

笔者的研究思路是建立一种关系,即关于盆地成藏的宏观动力学环境与油藏微观属性之间的联系:含油气盆地之下的油气聚集带,油气聚集带之下的油藏,这种油气聚集的层次关系正如沉积盆地之下的沉积体系,沉积体系之下的沉积相<sup>[2]</sup>。如同沉积学的研究方法是通过模式建立来预测未知环境一样,油藏的研究也可以通过分析地质情况明确的油藏,建立其属性与动力学环境之间的关系,探索属性的动力学涵义,从而预测油藏的类型及分布规律。

## 1 油藏主要属性

油气成藏研究中常用的油藏宏观属性包括油藏类型、油柱高度、油藏压力、油气比和温度等,微观(实验)属性包括含油饱和度、储层物性、密度和粘度等。不同油藏属性的量化特征可以准确地反映成藏动力的类型和量化特征,主要包括:油柱高度、油水过渡带厚度与含油饱和度;压力与含油饱和度;随深度、温度、密度、粘度、相态的变化,毛管压力与含油饱和度、油柱高度等的关系。

在实际应用中,从油藏属性出发研究成藏动力学环境及成因,分析不同类型油藏及其属性在盆地不同区带内的表现形式和变化,进而明确不同区带中不同类型油藏、不同属性对应的动力学类型及其变化特征,如构造与岩性油藏的转化(圈闭形式相同而油藏类型不同),同时可以对比属性的相关特征,重点探讨油藏类型、含油高度、油水过渡带、含油饱和度等与不同成藏动力和成藏过程的关系。

## 2 不同类型油藏属性的演化特征

在油气运移聚集研究中,排驱压力和饱和度中

收稿日期:2013-01-05。

作者简介:郝雪峰,男,高级工程师,博士,从事石油地质综合研究。联系电话:(0546)8715822,E-mail: sldzyxfhao@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”子课题“济阳坳陷油气富集机制与增储领域”(2011ZX05006-003)。

值压力是研究储层毛管压力曲线的2个关键值<sup>[3-4]</sup>。

排驱压力是指孔隙系统中最大连通孔喉所对应的毛管压力。未充填的中—粗粒砂岩的排驱压力小于0.05 MPa,渗透率较低岩样的排驱压力一般为0.1~1 MPa<sup>[3]</sup>。饱和度中值压力是指在非润湿相为50%时对应的注入曲线的毛管压力,该值可反映当孔隙中同时存在油、水两相时对油的产能,由此条件下对应的油柱高度为相应饱和度中值时油层条件下岩层能生产石油所必须的闭合高度<sup>[3]</sup>。

油藏原始含油饱和度是油气充注的最终结果,是油藏形成与分布的直接度量指标。前人研究认为,油藏中油水分布现状是驱动力和毛管压力平衡的结果,所以地下油、水饱和度受毛管压力、地层压力和浮力等因素的控制<sup>[3]</sup>。控制油藏饱和度的主要因素为油柱高度、储层物性、孔隙结构和流体性质等。分析东营凹陷不同类型油藏属性分布可知,在地层—构造—岩性的油藏序列中,排驱压力、饱和度中值压力、压力系数及含油饱和度总体上均呈增大趋势(图1,表1)。

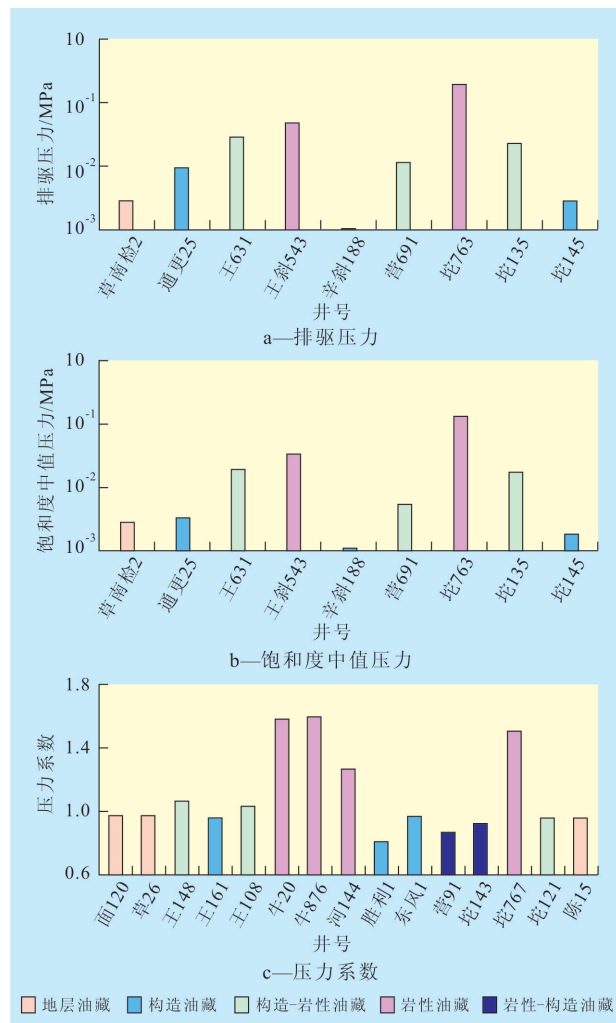


图1 东营凹陷不同类型油藏属性分布

表1 东营凹陷不同类型油藏属性统计结果

油藏类型	饱和度中值压力/MPa		含油饱和度,%		压力系数	
	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
地层	0.03~0.15	0.1	45~65	58	0.9~1.0	0.99
构造	0.1~0.5	0.42	50~70	60	0.9~1.16	1.02
岩性	0.5~5	2.79	58~75	64	1.3~1.6	1.49

油藏储层代表自身动力学属性的排驱压力、饱和度中值压力均呈增大趋势,说明油藏自身动力学条件变差,这是由于沉积类型和埋深等地质因素所决定的;而油藏压力等反映流体动力学环境因素的属性呈变好趋势,这是生烃、高压幕式运移等地质作用的影响<sup>[5-9]</sup>。因此,受以上因素共同影响的含油饱和度等属性值也呈变大趋势。

### 3 盆地成藏动力学与油藏属性的内在联系

#### 3.1 以浮力为主要动力的油藏

浮力是静水状态下流体势的主要影响因素,因此,圈闭的形成是通过石油所受浮力方向和大小的改变来起作用的。在构造圈闭油气运聚过程中,由流体之间的密度差所产生的浮力驱使水从毛细管孔隙中排出,使烃类通过孔隙系统并聚集成藏。在油藏底部,只有那些由最大喉道相连接的孔隙才为石油所充满;但是沿油藏底部向上,随着浮力的增加,油(气)也逐步充满更小的孔隙喉道<sup>[3]</sup>。油藏中的油水分布是储层毛管压力与油水两相压力差平衡的结果。

显然,整个油藏不同高度上的含水饱和度是不同的。过渡带的宽窄(厚度)受油水性质及岩石孔隙大小和分布的影响。高渗透性储层的过渡带一般很窄,含水饱和度较低;低渗透性储层的过渡带一般很宽,含水饱和度较高<sup>[3,10]</sup>。可以这样认为:在浮力条件下,一个圈闭中油水过渡带的厚度实际上反映了达到纯油层(一般认为是含油饱和度超过50%)所需要的连续油柱高度。在浮力状态下,含油饱和度取决于喉道半径及油水过渡带的厚度,或者说纯油层的含油饱和度取决于喉道半径和连续油柱高度,这一规律同样适用于以浮力为主要聚集动力,需要圈闭闭合高度的断层和地层油藏<sup>[11]</sup>。

在开放体系中,油藏含油饱和度的主要动力因素是油柱高度以及所产生的浮力,主要阻力因素是储层物性,两者共同决定含油饱和度。如新立村油

田的永8断块区<sup>[6]</sup>,最小含油高度为10 m,其含油饱和度为58%;最大含油高度为230 m,其含油饱和度为68%。又如胜坨油田二区的正韵律储层内,孔隙度和渗透率从下向上由高变低,原始含油饱和度一般亦向上变低,而层内渗透率级差控制着含油饱和度的变化幅度。此外,三角洲平原分流河道沉积砂体有效孔隙度为20%~35%,渗透率垂向差异很大,最大为 $4\ 000\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ ,最小的小于 $1\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ ,原始含油饱和度为10%~80%。

### 3.2 异常压力背景下的岩性油藏

在封闭系统中,异常压力是油气成藏的主要动力<sup>[8-9,12-13]</sup>,因此,岩性油藏的压力与含油饱和度和油柱高度的关系密切。在幕式动力条件下,岩性油藏的充满度<sup>[14]</sup>(油柱高度)和含油饱和度主要取决于充注的动力,在裂隙排烃条件下主要为混相流体压力<sup>[13,15]</sup>。多次充注和流体排替是形成岩性油藏的必要条件<sup>[15-17]</sup>。由于后期保存条件的变化,当前岩性油藏可以是常压系统,也可能是高压系统,但在充注期必然是高压系统。东营凹陷油包裹体与同期盐水包裹体“数据对”热动力学模拟获得的最小捕获压力数据显示:北部陡坡带坨143井沙三段中亚段岩性油藏的埋深为2 968~2 972 m,在东营组与馆陶组沉积时期发生2期含烃流体充注,压力分别为33.4和42.0 MPa,均为超压,而现今油藏为常压;营11岩性油藏中的营11-8井埋深为3 065.5 m,明化镇组沉积时期油气充注压力为42 MPa,同样为超压。

牛庄洼陷28个主要含油砂体的统计结果表明,压力系数越大的油藏,含油饱和度也越大。当压力系数为0.9~1.2时,含油饱和度为55%~60%,平均值为59.9%;当压力系数为1.2~1.4时,含油饱和度为57%~69%,平均值为61.4%;当压力系数为1.4~1.7时,含油饱和度为60%~70%,平均值为66.5%。这和构造油藏含油饱和度与油柱高度的密切相关性不同。不同的动力条件下,油藏属性的影响因素不同。在封闭动力条件下,含油饱和度往往与油水过渡带厚度无关。如牛庄油田的多个透镜状砂体油藏,每个油藏为单一的封闭单元,具有独立的油水系统,均属异常高压油藏,其含油饱和度与油水过渡带厚度(表2)没有必然联系<sup>[18]</sup>。

东辛油田营11岩性油藏的原始地层压力为48.96 MPa,压力系数为1.57,基本不含水,无明显油水过渡带。位于油藏高部位的营67井油柱高度为160 m,储层小孔隙含油,岩心分析含水饱和度为

表2 牛庄油田油水过渡带厚度与含油饱和度的关系

砂体	油水过渡带厚度/m	含油饱和度,%
牛34-C	13.6	72
牛35-C	1.4	66
牛106-D	7	69
辛154A	23	64
牛108B	22	72
史131A	1	62
史128	0	63
史133	2.5	56
王541A	4.7	59

17.3%,产油量为23.7 t/d,不含水;位于油藏中部的营11-48井储层小孔隙少量含油,岩心分析含水饱和度为36.6%,产油量为28.3 t/d,不含水;位于油藏低部位的营11-20井油柱高度为35 m,含水饱和度为41.2%,产油量为20.1 t/d,不含水。可见在油藏高部位的储层小孔隙储油,低部位储层小孔隙内为束缚水。以上资料表明,在高压环境且具有足够闭合高度的油藏内,油柱高度对含油饱和度仍具有重大影响<sup>[15-21]</sup>。

### 3.3 动力学环境对油藏类型的影响

不同的成藏(流体)动力学环境不但会影响不同类型油藏的属性,还会改变圈闭类型对油藏类型的决定作用,从而改变油藏类型及其属性。假设在油气聚集过程中,成藏动力由高压转为浮力后,在油藏的调整过程中存在一种中间状态(不完全与浮力状态相同),导致圈闭类型与油藏类型不完全一致。如在强水动力条件下,背斜内的油藏可能成为悬挂油藏,这是由于水流对烃类聚集状态的改变所致<sup>[6,22]</sup>;同样,在强流体压力条件下,由于烃类动力对流体状态的改变,背斜圈闭(或者说广义上的构造圈闭)中的成藏状态也可能发生改变,结果是油气聚集超过圈闭溢出口,不再受构造控制,在圈闭范围内没有油水过渡带,在动力学原理上体现出与浮力聚集不相符的特征,从封闭特征上可归为另一种类型。

### 3.4 油藏属性、动力形式及油藏分布的内在联系

所谓圈闭溢出口,在几何形态意义上是等高线闭合点,在动力学意义上是浮力作用(上倾方向)指向圈闭部分的终止点。可以认为,如果油藏中存在超过圈闭溢出口连续油柱高度,或者在油藏中不存在油水过渡带,那么必然是异常压力成藏的反映形式,这一现象很可能说明油藏的成因不是浮力聚集;另一方面,如果在浅层油藏中不存在油水过渡带(低幅圈闭),则含油饱和度等属性必然受其影

响。地质条件下存在最小圈闭闭合幅度的闭合高度为14.4 m,因此低幅圈闭(油藏)的形成是受严格条件控制的,只能存在于大的有利区带油藏聚集背景(正向构造带)中,或者区域高压充注环境下。

## 4 结束语

油藏属性可以归纳为成藏动力学的不同表现形式。在宏观属性中,油柱高度、油藏压力与不同的动力形式及聚集过程有关;在微观属性中,含油饱和度等也与动力形式密切相关,是不同动力形式的统一反映。同样,油藏类型也随动力形式的变化而发生变化,表现出不等同于圈闭类型的存在样式。油藏属性的这种变化形式在盆地中与不同的区带和油藏类型的演变形式具有明显的关联性,从宏观上反映了盆地成藏动力系统的特征和演变。

以不同类型油藏属性及其演变为基础,对不同动力形式下的成藏动力、阻力、排替和聚集等的表现形式进行深入分析,探讨了可能的成藏机理。正如同根据沉积动力学与环境的演变可以预测沉积体系组合样式及其演变特征,根据油藏类型、属性及成藏动力学的演变,也可以形成基于盆地成藏动力学环境及圈闭类型分布特征来预测油气成藏机理的方法。

### 参考文献:

- [1] 庞雄奇,李丕龙,张善文,等.陆相断陷盆地相—势耦合控藏作用及其基本模式[J].石油与天然气地质,2007,28(5):641-652.
- [2] 郝雪峰.陆相断陷盆地层序地层与成藏单元类比分析——以济阳拗陷为例[J].油气地质与采收率,2007,14(2):16-18.
- [3] 王允诚,向阳,邓礼正,等.油层物理学[M].成都:四川科学技术出版社,2006.
- [4] 宋国奇,向立宏,郝雪峰,等.运用排替压力法定量预测断层向封闭能力——以济阳拗陷为例[J].油气地质与采收率,2011,18(1):1-3.
- [5] 李明诚.对油气运聚研究中一些概念的再思考[J].石油勘探与开发,2002,29(2):13-16.
- [6] 李明诚.石油与天然气运移[M].3版.北京:石油工业出版社,

2004.

- [7] 李恒清,杨少春,路智勇.油气充注方式对油藏内油水分布特征的影响——以东营凹陷永8断块油藏为例[J].油气地质与采收率,2012,19(2):9-11,15.
- [8] 查明,曲江秀,张卫海.异常高压与油气成藏机理[J].石油勘探与开发,2002,29(1):19-23.
- [9] 郝芳.超压盆地生烃作用动力学与油气成藏机理[M].北京:科学出版社,2005.
- [10] 宋国奇,宁方兴,郝雪峰,等.骨架砂体输导力量化评价——以东营凹陷南斜坡东段为例[J].油气地质与采收率,2012,19(1):4-6,10.
- [11] 王学军,宁方兴,向立宏.断陷盆地盆缘地层圈闭含油性定量预测模型——以济阳拗陷古近系—新近系为例[J].油气地质与采收率,2011,18(1):4-6,22.
- [12] 卓勤功,向立宏,银燕,等.断陷盆地洼陷带岩性油气藏成藏动力学模式——以济阳拗陷为例[J].油气地质与采收率,2007,14(1):7-10,14.
- [13] 苏永进,蒋有录,房新娜.欠压实区内岩性油藏幕式成藏机制分析[J].新疆石油天然气,2005,1(1):36-38.
- [14] 宁方兴.济阳拗陷地层油气藏油柱高度主控因素及定量计算[J].油气地质与采收率,2008,15(3):9-11.
- [15] 曾澍辉,张善文,邱楠生,等.济阳拗陷砂岩透镜体油气藏充满意度大小及其主控因素[J].地球科学——中国地质大学学报,2002,27(6):729-732.
- [16] 万晓龙,邱楠生,张善文.东营凹陷岩性油气藏动态成藏过程[J].石油与天然气地质,2004,25(4):448-451.
- [17] 万晓龙,邱楠生,张善文,等.东营凹陷砂岩透镜体油气藏成藏特征探讨——以营11岩性油藏为例[J].中国海上油气,2004,16(2):89-92.
- [18] 郝雪峰.古油势和低序次断层与砂岩透镜体圈闭含油性的关系——以东营凹陷牛庄洼陷沙三段中亚段为例[J].油气地质与采收率,2012,19(3):6-10.
- [19] 万晓龙,邱楠生,石硕,等.东营凹陷超压体系中的岩性油气藏充满意度机理[J].吉林大学学报:地球科学版,2007,34(3):372-376.
- [20] 孙怡.成藏动力对束缚水饱和度的影响[J].油气地质与采收率,2007,14(2):64-66.
- [21] 郝雪峰,陈红汉,高秋丽,等.东营凹陷牛庄砂岩透镜体油气藏微观充注机理[J].地球科学——中国地质大学学报,2006,31(2):182-189.
- [22] 张厚福,方朝亮,高先志,等.石油地质学[M].北京:石油工业出版社,1999.

编辑 常迎梅