

文章编号: 1001-6112(1999)03-0261-05

低渗 特低渗边际油田的油藏地质及开发特征

——以辽北中生代盆地陆相油田为例

姚光庆, 潘琳, 关振良

(中国地质大学石油系, 湖北武汉 430074)

摘要: 边际油田是陆相地层中常见的一种油田类型, 因油田储量小、油藏能量低、储层质量差等不利因素, 使得开发这类油田遇到许多困难。近年来发现辽北及内蒙中生代盆地(上侏罗统)存在众多陆相低渗、特低渗边际油田, 马家铺、廖 1 块和白 3- 白 4 块 3 个低渗、特低渗油田就是典型代表。本文重点讨论此类边际油田的储层特征, 分析储层低渗的原因, 并总结低渗油田的油藏动力学特征, 在此基础上指出了合理开发边际油田的对策。

关键词: 低渗、特低渗油田; 边际油田; 陆相油田; 开发对策; 辽北中生代盆地

中图分类号: TE348

文献标识码: A

1 边际油田的概念

按商业开发价值, 地下油气藏可归属 3 个级别: “商业性的”、“边际性的”或“非商业性的”。具体将取决于经济、技术和政治等许多综合性因素, 而和油田的大小没有直接关系。这 3 个术语的实用定义如下^[1]:

商业性的——这一级油气藏的发展前景是, 石油公司在采用常规技术进行开发的条件下, 经济上可获有吸引力的盈利率。

非商业性的——这一级油气藏的发展前景是, 石油公司在可预见的技术和财政情况下无法获得经济效益。

边际性的——这一级油气藏的发展前景是, 石油公司只有在选用改进的技术和(或)资金方案的条件下才能获得经济效益。

无论是海洋还是陆地, 大型、特大型油气田总是少数, 而小型油气田或油藏则占绝大多数, 其中小型油藏的大部分是边际油田。表 1 表示英国大陆架将要开发的近海油田中 57% 属边际油田规模(可采储量 5000 万桶以下)。投资边际油田的勘探和开发商

业风险很大, 石油公司必须作出最优化的工程设计, 并采用先进技术, 才可以获得较好的经济效益。而其中准确的地质评价是至关重要的。值得注意的是, 技术水平、投资费用、油价、税率、利率等变化都不能改变边际油田的客观存在, 这些变化不过是使边际油田的边界发生移动, 使个别油田的归属发生小的变化。

表 1 英国大陆架将要开发的近海油田的规模^[1]

Table 1 Scale of offshore oil fields
to be developed in UK shelf

油田规模/ $\times 100$ 万桶	将要开发油田数
50 以下	50
50~ 100	20
100~ 150	10
200~ 500	5
500~ 1000	1
1000 以上	-

边际油田的概念显然与老油田挖潜提出的“表外储层”、“表外储量”或“表外油田”有区别。它与地理、气候、交通等地面不利条件有关; 更是由于地下油藏本身的埋深、储层质量、储量规模、油气分布等

收稿日期: 1999-06-09

作者简介: 姚光庆(1964-), 男(汉族), 山东泰安人, 副教授, 主要从事油藏地质教学和研究

等客观因素所决定的。

我国东北地区中生代众多陆相盆地中,存在许多边际油田。最为曲型的就是横跨辽北和内蒙的开鲁盆地和彰武盆地内上侏罗统发现的 10 余个低渗、特低渗的边际油田。自 1990 年在包 1 井九佛堂组获工业油流发现包日温都背斜油藏之后,辽河油田在众多中生代外围盆地勘探中获得重大突破,证明辽北许多中生代中小型盆地有较好的成藏条件和较丰富的油气潜力。本文将该区马家铺、廖 1 块和白 3 - 白 4 块 3 个低渗、特低渗边际油田为例,分析其油藏特征(重点是储层特征)和开发特征,希望能为此类边际油田的开发提供参考。

2 低渗边际油田的储层地质特征

辽北及内蒙地区的开鲁盆地和彰武盆地内已发现 10 余个中生代低渗、特低渗的边际油田,如马家铺、好北、包日温都、包 20 块、廖 1 块、白 3 - 白 4 块等等油田均属低渗、特低渗油田。含油层系主要为上侏罗统地层九佛堂组和沙海组,下伏义县组(火山碎屑岩沉积),上覆阜新组(萎缩期沉积)。白垩系为拗陷期沉积覆盖在区域不整合之上。下面将从储层地质方面分析边际油田的沉积、非均质和低孔渗特征。

2.1 低渗储层的沉积特征

本区九佛堂组低渗储层主要为扇三角洲沉积体系沉积,根据其在盆地中的位置、沉积物供给和岩性特征等,可区分出两种扇三角洲沉积体系类型:近源扇三角洲沉积体系和远源扇三角洲沉积体系

近源扇三角洲沉积体系:沿盆地短轴方向,紧临边界断裂,在陡坡带发育的砾质扇三角洲。如开鲁盆地陆东凹陷廖 1 块所在的交南扇三角洲和陆西凹陷包日温都扇三角洲等。

远源扇三角洲沉积体系:沿盆地长轴方向,在高垒带围斜缓坡发育的砂质扇三角洲。如开鲁盆地陆西凹陷的马家铺扇三角洲和彰武盆地张强凹陷白 3 - 白 4 块所在的胜利村扇三角洲等。

含油储层主要分布在扇三角洲前缘亚相中,以辫状河道和碎屑片状流微相为主。

九佛堂组扇三角洲沉积的砂体,可识别出 8 种储集岩石相类型(见表 2)。主要表现为岩性混杂、凝灰质含量高、胶结致密、结构和成分成熟度低等特征,这是储层低渗的主要原因。近源扇三角洲沉积颗粒较粗,岩性混杂,岩石相类型以砂砾岩和含砾砂岩

相为主。粒径中值平均 0.2~0.5mm。岩石成分中,石英仅占 5% 左右,长石和岩屑分别为 15% 和 80% 左右,属岩屑砂岩或长石岩屑砂岩类型。泥质含量一般 5%~10%。分选性较差,分选系数 2.2 左右。远源扇三角洲沉积颗粒偏细,泥质含量较高,岩石相类型以砂岩和含砾混杂砂岩相为主。粒径中值平均 0.1~0.2mm。岩石成分中,石英占 15% 左右,长石和岩屑分别为 15% 和 80% 左右,属岩屑砂岩或长石岩屑砂岩类型。泥质含量一般 10% 左右。分选性较差,分选系数 1.8 左右。说明岩石结构成熟度很低、成分成熟度也很低。

表 2 低渗储层岩石相类型及特征

Table 2 Lithofacies types and characteristics of tight reservoirs

序号	岩石相	代号	常见微相
1	块状-正递变层理砾岩、含砾砂岩相	Gm g	辫状主河道
2	块状混杂砂砾岩	SGm	碎屑重力流
3	块状-正递变层理含砾砂岩相	GSm g	辫状河道
4	块状-平行层理砂岩相	Spm	辫状河道
5	水平-波状层理砂岩、粉砂岩相	Slw	河道充填或席状砂
6	块状凝灰质砂岩相	Sn	前缘席状
7	生物扰动含泥粉砂岩相	M Sb	浅湖相或前扇三角洲
8	薄层砂岩、泥岩互层相	M s	浊积体

2.2 低渗储层宏观非均质性

储层宏观非均质性表征内容包括:储集体展布、内部构成、连续性与连通性、小层物性分布等,具体评价参数有岩性、厚度、含砂率、层数、连通系数等等。

近源扇三角洲储层非均质性研究的重点不同于远源扇三角洲,前者影响含油性的主要非均质性是厚层砂砾岩储层内岩性(相)的横向变化及层内夹层的分布。相比之下,远源扇三角洲储层岩性较均一,岩性(相)横向变化不大,非均质性的重点是储层厚度及层数的变化

针对典型砂体对比剖面,通过定量统计,我们将研究区储层非均质性的一些重要参数归纳在表 3 中。表 3 强调了马家铺储层的砂体厚度、层数及连通性的变化。用“连通系数”表示剖面方向上砂体的横向连通程度,并定义为某一单砂层跨越的井数与该区或该剖面中总井数之比。为了消除不同井间距的

影响并可进行对比, 我们用“折算连通系数”取代“连通系数”。

表 3 马家铺砂岩储层非均质性参数统计表

Table 3 Statistics of an isotropic reservoir parameters in Majapu sandstone

砂层组	含砂率/%	砂层层数	单砂层厚/m	折算连通系数	沉积微相
I	45	9	3.0	0.45	前缘席状粉砂岩
II	31	9	2.5	0.32	辫状河道砂岩

2.3 储层低孔渗物性特征

岩心观察表明, 扇三角洲储层的岩性与含油性之间关系密切。含油岩性包括泥质砂岩到细砾岩的各级别岩性, 包日温都油藏主要含油岩性是砂砾岩, 其次是中-粗砂岩, 其它细粒级岩性仅占 33.5%。马家铺油藏含油岩性明显变细, 所占比例最大的是粉砂岩, 其次是细砂岩, 而砂砾岩和中-粗砂岩仅各占 4.5%。

本区储层总体上表现出储集性能较差, 孔隙度一般 10%~20%, 低-中等; 渗透率 $< 1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为低-特低渗储层类型(表 4)。当然, 不同岩性或岩石相之间, 储集性能差别较大。

表 4 九佛堂组取心井储层物性统计表

Table 4 Statistics of physical properties for reservoirs in the core holes of Jinfutang Formation

地区	孔隙度/%			渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$			备注 ($K < 1$ 的样品%)
	最大	最小	一般	最大	最小	一般	
包日温都	26.0	5.5	11.7~18.2	1256	< 1	1~11.3	10
马家铺	32.5	8.1	20.5~24.0	290	< 1	1~5.7	75
交南	25.8	3.3	10.3~17.9	910	< 1	1~7.1	20
白 3-4 块	25	3.3	11.4~16.7	210	< 1	1~7.0	45

(据肖乾华等, 1996 年修改)

压汞曲线是研究储层孔隙结构的重要手段, 可以定量确定孔隙的许多特征参数, 并据此对储层进行分类评价。通过对白 3-白 4 块、马家铺等油藏样品的统计分析, 储集岩压汞曲线和孔隙结构类型分为 4 类(见图 1)。马家铺的主力储层为 II 和 III 类(占样品数的 81%), 孔隙度 20%~26%, 渗透率 $< 1 \times 10^{-3} \sim 17 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 排驱压力 p_d 为 0.6~3.4 MPa, 主要流动孔隙半径均值 0.15~0.71 μm 。

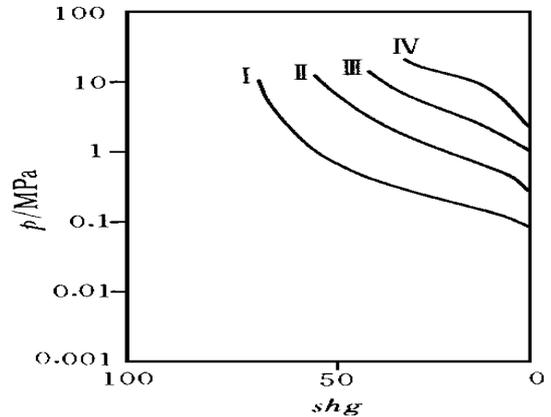


图 1 低渗储层压汞曲线类型图

Fig. 1 Types of mercury-injection curves for tight reservoirs

3 边际油田的油藏动力学特征

在油藏储层地质研究的基础上, 边际油田的油藏动力学特征主要表现为油藏类型、流体与能量、渗流特征、储层敏感性等方面, 主要介绍如下。

3.1 油藏类型

边际油田的油藏类型以岩性油藏或构造(地层)-岩性复合油藏为主, 马家铺、廖 1 块、白 3、白 4 块等边际油田的油藏就是此种类型。岩性油藏的含油面积不连续, 没有统一的油水边界, 低水或边水不活跃。

3.2 流体与能量

辽北中生代残留小型陆相盆地一般埋藏较浅, 油藏普遍受次生改造, 原油的粘度和密度偏高, 常见为普通稠油类型(表 5)。

油藏的能量相对较低(表 6)。油层压力较低, 属于正常至低压油藏类型; 油层地温梯度小于 3.5; 无气顶、底水不活跃, 弹性驱动中等到弱。

表 5 辽河油田稠油分类标准

Table 5 Classification criteria for dense oil in Liaohe oil field

稠油类型		主要指标粘度 /mPa·s	辅助指标密度(20 °) /g/cm ³
普通	A 级	50~100	> 0.920
稠油	B 级	100~10000	> 0.920
特稠油		10000~50000	> 0.950
超稠油		> 50000	> 0.980

(据时庚戌等, 1994)

3.3 渗流特征

储集岩石是一比面积大,高度分散的多孔介质。当油、水两相或油、气、水 3 相同时存在于储层岩石孔隙中时,流体与岩石的接触面积是极大的。这时流体的表面现象就突出表现出来,岩石润湿性、毛管压力参数和相渗透率等流体渗流特征参数的研究是非常必要的,本区这些参数见表 7。

3.4 储层敏感性

油层中能够引起储层伤害的矿物称敏感性矿物,包括粘土矿物和非粘土矿物两类。其中,粘土矿物的存在是造成油层伤害的主要原因。储层敏感性评价结果主要是通过采用模拟实验研究得到的,然后通过矿场实验就可以提出防止伤害的措施。表 8 列出了粘土矿物含量及类型与储层敏感性的关系。数据反映出易水化膨胀的蒙脱石矿物含量越高,储层水敏程度和盐敏程度越强;高岭石含量越高,储层速敏程度越强。因此,钻采过程中外来工作液与含油气储层的配伍性实验研究是非常关键的。

表 6 油层压力、温度表

Table 6 Reservoir pressure and temperature

地区	油层深度 /m	地温梯度 /M Pa/100m	压力系数
廖 1 块	1425	3.6	0.9434
白 3 块	1066	2.81	0.89
白 4 块	914	3.17	0.88
庙 5 块	507	3.7	1.0
庙 7 块	1047	3.1	0.93

表 7 油藏渗流参数

Table 7 Seepage parameters for reservoirs

油藏	润湿性	毛管压力参数	
		p_d /M Pa	sw_i /%
廖 1 块	偏亲油	0.02~0.25	5~22
白 3 块	亲油	0.019~2.368	8.01~78.0
白 4 块	强亲油	2.792~3.027	48~67
庙 5 块	偏亲油-中性	0.2~8.2	21~76
庙 7 块	偏亲油	0.08~0.8	14~39

表 8 储层敏感性与粘土矿物

Table 8 The relationship between reservoir sensitivity and clay minerals

油藏	粘土矿物/%					敏感性评价			
	蒙脱石	高岭石	伊利石	绿泥石	伊/蒙	水敏	速敏	酸敏	盐敏
廖 1 块	/	2~28	30~85	0.8~8	12~35	中-弱	中-弱	中等	中-强
白 3-4 块	70~90	0.4~20	2~35	/	/	强	中等	中等	强
庙 5 块	55~70	10~80	5~10	/	5~10	强	强	弱	强
庙 7 块	/	10~20	20~70	5~10	20~35	中-弱	弱	弱	中-强

4 陆相边际油田的开发现状与对策

4.1 开发现状

目前陆相边际油田的开发存在严重困难,投入与产出极不协调,甚至入不付出。它们的主要特征或表现如下。

油藏工程表现:原油为低稠或稠油,油藏原始能量弱。单井日产油量低,小于 5t,多数 0.5~2t。注水、压裂、酸化等增产措施效果不明显。地理条件差,地面工程建设费用高,困难大。

油藏地质表现:埋藏较浅,一般为 1000m 左右,廖 1 块为 1300m。岩性细,以粉砂岩为主,泥质含量普遍较高,且分选较差。油层薄,互层多,连续性差。原油性质偏重,水驱能量弱,地层压力小。储层低渗、

特低渗。油藏类型以岩性油藏为主,规模较小。

4.2 开发对策

陆相边际油田上述油藏特征可以用“四低、四高”来概括,“四低”即低孔、低渗、低温、低能;“四高”即高伤害、高凝固点、高含蜡、高粘度(张博全,1996)。针对陆相边际油田的这些特点,油田开发过程中应考虑采取以下主要对策。

(1) 尽早补充能量:选用合理的注入剂,在开发早期增加油藏的能量,补充油藏自然能量的不足,来提高产能。

(2) 改善渗流条件:一是通过压裂和酸化措施提高油藏孔、渗条件;二是通过注入热介质等措施降低原油粘度,来改善油层的渗流条件。

(3) 重视油藏保护措施:油层普遍存在强水敏、强盐敏现象,上采油措施时,必须充分考虑储层敏感

性,避免油井减产或停产。

(4)调整完善注采系统:根据储层构成和孔渗条件合理设计注入井与采油井系统,针对性调层补孔。

(5)采取先进和适用的采油工艺技术:可选择压裂、注水、蒸汽吞吐、脉冲热驱、火烧油层等等工艺措施。

(6)注意保持稳产:注意启动压差和油层见水后采油指数与采液指数迅速降低问题,保持油田稳产。

另外,针对具体边际油田情况,要先充分进行油藏综合评价,包括经济评价,适时合理地进行投入,确保油田开发过程中具有一定经济效益。

衷心感谢中国地质大学(武汉)石油系张博全教授、辽河石油勘探局总工程师时庚戌教授、副总工程师张敬华教授在课题研究过程中给予的悉心指导。感谢辽河石油勘探局科尔沁油田开发公司、油藏工程处、地质勘探开发研究院等单位的大力帮助。

参考文献:

- [1] D. A. 菲,等著 马志良,等译 近海边际油田开发技术[M]. 北京:石油工业出版社,1990
- [2] 王允诚,等 裂缝性致密油气储集层[M]. 北京:地质出版社,1992
- [3] 张博全,等 开发早期油藏描述[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1995
- [4] 张金亮,等 早期油藏地质研究及油藏表征[M]. 西安:西北大学出版社,1993
- [5] 裘亦楠,等 油气储层评价技术[M]. 北京:石油工业出版社,1994
- [6] 裘亦楠 储层地质模型[J]. 石油学报,1991,(4):55~62
- [7] 肖乾华,等 陆家堡坳陷上侏罗统油藏形成条件[J]. 复式油气田,1996,(3):20~25
- [8] 费琪 成油体系分析[J]. 地学前缘,1995,2(4):163~170
- [9] 姚光庆,等 油藏动力学模型研究的思路、内容和方法[J]. 地学前缘,1995,2(4):200~206
- [10] Charles W. Spencer and Richard F. Mast eds. Geology of Tight Gas Reservoir. AAPG Studies in Geology No. 24[J], AAPG. 1986

RESERVOIR GEOLOGICAL AND DEVELOPMENT CHARACTERISTICS OF TIGHT AND SUPERTIGHT MARGINAL OIL FIELDS —A CASE STUDY OF CONTINENTAL OIL FIELDS IN THE MESOZOIC BASINS OF NORTH LIAONING PROVINCE

YAO Guang-qing, PAN Lin, GUAN Zhen-liang

(Department of Petroleum, China University of Geology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: The marginal oil field is a common type of oil fields in continental strata. As there are small reserves, low accumulation energy and poor reservoir quality in oil fields, many difficulties emerge when developing this kind of oil fields. Recent years, a lot of continental tight and supertight marginal oil fields were discovered in the Mesozoic (Upper Jurassic) basins of North Liaoning and Nei Mongol, among which Majiapu, Liao-1 district and Bai 3-4 district are three typical tight and supertight oil fields. In this paper, the reservoir characteristics of this kind of marginal oil fields are emphatically discussed, the reason why reservoirs have low permeability is analyzed, and the reservoir dynamic characteristics of tight oil fields are summarized. On this basis, strategies for reasonable development of marginal oil fields are suggested.

Key words: tight and supertight oil fields; marginal oil fields; continental oil fields; development strategies; North Liaoning province