

文章编号: 0253- 9985(2004) 03- 0314- 05

原油采收率影响因素探讨及油藏综合分类

游秀玲, 张 玲, 罗云秀

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 影响采收率的因素大体上可以分为油藏地质特征与开发、采油技术两大类。对于勘探阶段或开发初期新提交探明储量的油藏, 影响采收率的因素主要是油藏地质特征。合理的综合油藏分类是采用类比法和经验值取值法的基础。单一因素的油藏分类方案很多, 例如据圈闭类型、原油物性、岩石类型、岩石物性的分类以及根据油藏的原始驱动类型分类等等。这些单因素分类方案对于估算采收率都有一定的片面性。利用 400 多个已知油藏资料, 在各类油藏地质特征与采收率的相关统计基础上, 确定了油藏综合分类原则与依据。以估算采收率为目的, 建立了一套新的综合油藏分类方案。

关键词: 新增探明储量; 可采储量; 采收率; 油藏综合分类

中图分类号: TE313. 7

文献标识码: A

Factors influencing oil recovery efficiency and comprehensive classification of oil reservoirs

You Xiuling Zhang Ling Luo Yunxiu

(Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing)

Abstract: Factors influencing oil recovery efficiency can generally be classified into two large categories: geological features of reservoirs and development and production technologies. As for reservoirs whose reserves have just been proved in exploration stage or in the initial stage of development, geological features of reservoirs are the main factors that influence oil recovery efficiency. Rational and comprehensive classification of oil reservoirs is based on application of analogue method and empirical data. There are various classification methods based on a single factor, such as trap types, physical properties of crude oil, rock types, poroperm characteristics, original reservoir drive mechanism, etc. . None of them, however, is suitable for estimating oil recovery efficiency. Principles of comprehensive reservoir classification are developed on the basis of statistics of geological features and recovery efficiency of each reservoir type by using the available data of more than 400 reservoirs. A new method of comprehensive reservoir classification is presented for estimating recovery efficiency.

Key words: newly increased proven reserves; recoverable reserves; recovery efficiency; comprehensive reservoir classification

1 主要影响因素

影响采收率的因素可以分为油藏地质特征与开发、采油技术两大类。对于新提交探明储量的油藏, 将采取何种开发方式、开采技术尚未确定, 更不可能取得生产动态资料, 因此影响采收率的因素主要是油藏地质特征。例如油藏构造特征、储集岩岩石类型与岩石物性、流体驱动类型与原

油性质等^[1]。为了探讨影响原油采收率主要因素, 本文选择中国石化股份公司管辖区投入开发或试采的 400 多个油田(藏) 的资料进行统计、分析, 探讨各种参数与采收率相关关系, 为油藏综合分类提供依据。

1.1 圈闭类型

构造特征是构成油藏的 3 大基本要素之一。不同的油藏地质构造形态(圈闭类型) 决定流体分

基金项目: 中国石化股份公司先导性项目“中国石化新增探明储量采收率标定标准研究”(YTB2001- 04)

第一作者简介: 游秀玲, 女, 58 岁, 教授级高级工程师, 沉积储层、开发地质与储量管理

收稿日期: 2004- 03- 22

布特征和开采方式,无疑是影响采收率的重要因素^[2~4]。一般来说,构造(层状、块状)油藏便于井网布置和开展二次、三次采油。而复杂断块油藏,由于构造不完整难以形成注采井网,有时甚至采取单井衰竭式开采。由于油藏破碎、动用难度大,油藏剩余油较多^[5],不便于采取二次、三次采油,必然影响原油最终产出程度。图1-A为中国石化股份公司400多个油(藏)田分类统计结果,如图所示:采收率大小与油藏类型密切相关,其中整装构造油藏采收率较高,平均值为28.1%(含各类岩性油藏);而岩溶缝洞型块状油藏(碳酸盐岩油藏)采收率较低,平均值仅为15%。同是砂岩油藏由于圈闭类型不同,采收率也存在明显差异,如岩性油藏与整装构造油藏平均采收率相差10%。胜利油区是中国石化股份公司主要产油基地,油区采收率分类统计结果显示(图1-B),构造油藏平均采收率为38.7%,岩性圈闭油藏平均采收率为26.2%,地层圈闭油藏平均采收率为15.9%,不同油藏类型采收率存在明显差异。

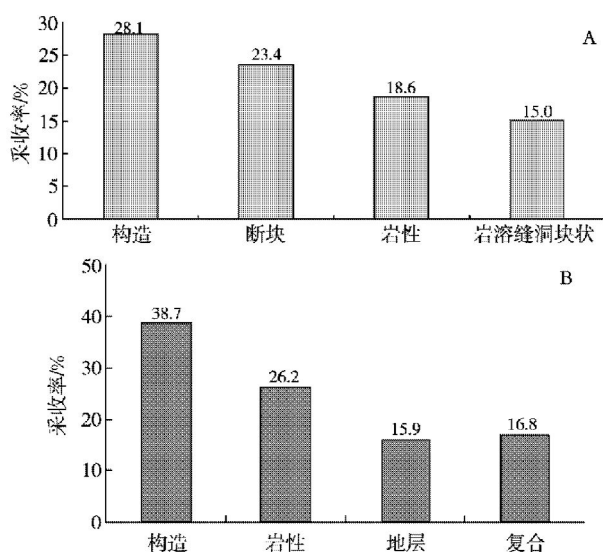


图1 不同油藏类型采收率分布图

Fig. 1 Distribution of recovery efficiencies of various reservoir types (A. Each branch of SINOPEC; B. Shengli Oilfield)

A—中国石化股份公司不同油藏类型采收率分布图;

B—胜利油田不同油藏类型采收率分布图

1.2 储集层

1.2.1 岩石类型

国内外资料表明,碎屑岩、碳酸盐岩、火成岩(包括玄武岩、安闪岩、花岗片麻岩等)都可以作为

油气储集岩。由于岩性不同,岩石的孔隙结构不同、裂缝发育程度差异、岩石的表面特征不同等等都直接影响着采收率的大小。中国石化股份公司以碎屑岩油藏(田)为主,储层主要是中砂岩和细砂岩,其次为粗砂岩和粉砂岩。不同岩石类型油藏采收率统计结果表明(图2),含砾砂岩采收率最高达31.3%,粉砂岩平均采收率为26.6%,灰岩采收率最低,平均19.3%。

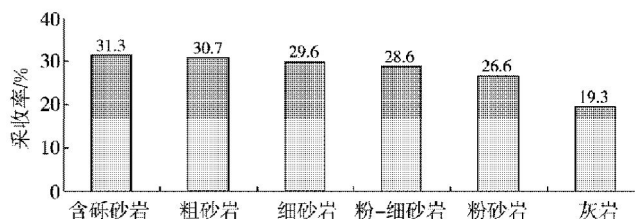


图2 不同岩石类型采收率分布图

Fig. 2 Distribution of recovery efficiencies in different rock types

1.2.2 岩石物性

储集岩物性是影响采收率的最重要的参数,其中最敏感的是储层渗透率。渗透率反映地下流体的流动能力,一般高渗透油层孔隙发育,孔喉半径大,在注水开发条件下,流体容易流动且有较大的波及系数。因此在其他参数大致相同的条件下,储集岩渗透率越大,采收率越高。1998年实施的油气储层评价行业标准^[6]将碎屑岩储层分为特高渗($\geq 2000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)、高渗($500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \leq K < 2000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)、中渗($50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \leq K < 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)、低渗($10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \leq K < 50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)、特低渗($< 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)5级。如图3A所示,中国石化股份公司内部主要油藏采收率随渗透率增加而提高,呈明显正相关关系,同时特高渗和高渗采收率分别为32.3%,32.2%,非常接近,油藏分类时可以合并为高渗透。图3B为中国石化股份公司不同渗透率油藏采收率散布图,不难看出不同渗透率油藏采收率分布区间呈明显分带性。

1.3 流体驱动类型

驱动类型是指油层在开采过程中主要依靠那一种能量来驱油。国内外油田勘探开发经验证明,不同的驱动类型具备不同的驱动机理与开采特征,不同的驱动机理导致不同的采收率^[7](表1)。因此,驱动类型与采收率之间有着非常密切

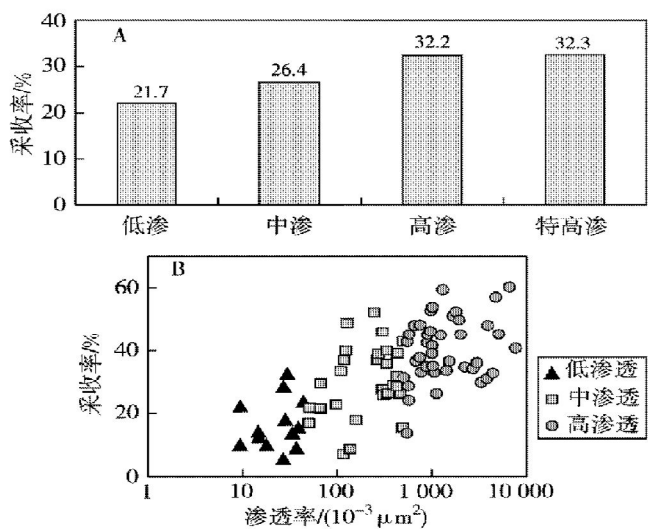


图 3 不同渗透率油藏采收率统计图

Fig. 3 Statistics of recovery efficiencies of oil reservoirs with different permeability
(A. histogram; B. scattergram)
A—柱状图; B—散布图

较高, 约为35%~ 70%。气体不能润湿岩层, 气流一般窜流和混流比较严重, 因此气驱采收率低于水驱约为20%~ 60%^[1]。通常溶解气驱采收率最低, 约15%~ 25%(图 4)。

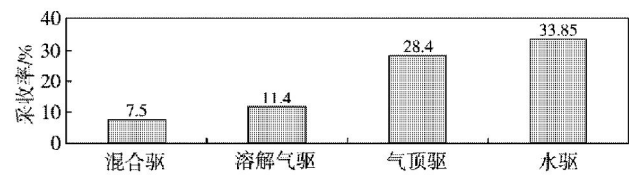


图 4 胜利油田不同驱动类型采收率分布图

Fig. 4 Distribution of recovery efficiencies of oil reservoirs with various drive types in Shengli oilfield

1.4 原油物性

地下原油粘度对采收率具有极其重大的影响, 粘度高的原油不仅增加了驱动能量的消耗而且易形成所谓平面突进现象, 最终降低采收率(图 5)。地下原油粘度与采收率之间呈现出较好的负相关。根据原油粘度将油层条件下原油粘度大于 50 mPa·s 称为稠油; 原油凝固点大于或等于 40 ℃,

的联系。最常见的驱动类型是水驱、气顶驱和溶解气驱。从微观渗流机理分析, 水能润湿岩层、渗入孔隙、微细缝隙, 将油驱入孔道, 所以驱油效率

表 1 不同驱动类型油藏特征表^[8]

Table 1 Characteristics of oil reservoirs with various drive types

驱动类型	压 力	地下水	驱动能量	开发特征	采收率 / %
弹性驱动	地层压力始终高于饱和压力($P > P_b$)	无边水(底水或注入水)或有边水但不活跃, 无气顶	依靠油层岩石和流体的弹性膨胀能量驱油	随压力下降产量也下降, 但生产油气比不变	5~ 10
溶解气驱	地层压力低于饱和压力($P < P_b$)	无边水(底水或注入水)、无气顶或有边水但不活跃	随弹性驱动压力下降至低于饱和压力后, 溶解气分离气泡膨胀驱油	压力下降急剧、油气比上升快, 产量下降快	12~ 25
水压驱动	刚 性 压降越大, 采液量越高	油层与边水、底水(或注入水)相连通、水层有露头	驱动能量主要是边水(底水或注入水)的重力作用	开采过程中压力不变、气全部呈溶解状态、油气比等于原始溶解油气比	35~ 60
	弹 性 地层压力高于饱和压力、无脱气($P > P_b$)	边水活跃(无露头)其活跃程度不能弥补采液量	主要是依靠含水区和含油区压力降低而释放出的弹性能量开采	开采过程中压力不断下降, 油气比不变	25~ 60
气压驱动	刚 性	当油藏存在气顶且气顶中的压缩气为驱油的主要能量		初期地层压力、产量、油气比不变, 后期油气比增加	20~ 40
	弹 性			由于地层压力不断下降, 造成产量下降	15~ 35
重力驱动	开采时, 地层压力随时间而减小	油层倾角大、厚度大及渗透性好	依靠原油自身的重力驱油, 多出现于开发后期和其他能量已枯竭的情况下	地层压力下降但油气比不变	50~ 70
气顶驱油藏			油藏存在原始气顶而水驱作用很小或没有水驱, 是气顶-溶解气混合驱动	压力下降缓慢、构造高部位井油气比上升急剧、生产无水原油	20~ 40
综合驱动油藏			油藏存在原始气顶而水驱作用很小或没有水驱, 是气顶-溶解气混合驱动	压力下降缓慢、构造高部位井油气比上升急剧、生产无水原油	20~ 40

称为高凝油;其余称为常规油藏^[9]。根据开发状况,稠油油藏又可分为热采稠油油藏和常规稠油油藏。如图6A所示,采收率随原油粘度增加而降低。但是热采稠油和常规稠油采收率差别不大,分类时只需将热采稠油单独列出即可。根据原油地面密度将原油分为轻质油($< 0.87 \text{ g/cm}^3$)、中质油($0.87 \sim 0.92 \text{ g/cm}^3$)、重质油($> 0.92 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$) (图6B),采收率随地面密度增大而降低,同样轻质油和中质油采收率差别不大,分类时只需将重质油单独列出即可。

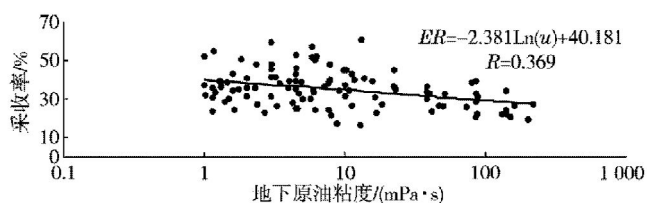


图5 胜利油田主要开发油藏原油粘度与采收率相关图

Fig. 5 Crude viscosity vs. recovery efficiency of major developed oil reservoirs in Shengli oilfield

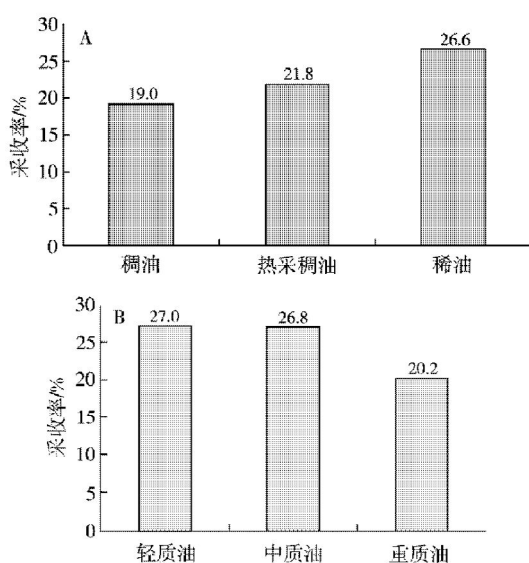


图6 不同油藏类型采收率柱状分布图

Fig. 6 Histogram of recovery efficiencies of various reservoir types (A shows various viscosities, while B shows various densities)

2 综合分类原则与依据

(1) 以反映采收率大小为目的,参照国家行业标准和中国石化股份公司现使用的油藏分类^[6,10],主要油藏类型细分、次要油藏类型粗分,

以基本油藏类型为主体、辅以亚类条件说明的综合分类。

(2) 以圈闭类型、储集岩岩石类型、原油性质作为油藏基本类型名称;以与采收率密切相关的储集岩渗透性作为描述词。

(3) 根据开发方式首先将油藏分为:拟注水开发油藏、拟天然能量开发油藏、热采稠油等3大类。

(4) 注水开发油藏内,依据岩石类型分为:砂岩油藏、碳酸盐岩油藏、特殊岩类油藏3类。砂岩油藏是中国石化股份公司主要油藏类型,需根据圈闭类型进一步细分为构造、岩性、地层、复杂断块与复合圈闭油藏。碳酸盐岩油藏是公司储量仅次于砂岩的油藏类型,由于其特有的油藏地质特征决定,影响采收率的因素也有所不同,需要独立分类^[11];依据岩石类型分为石灰岩、白云岩、灰质白云岩;依据孔隙类型分为裂缝-孔隙型、裂缝-溶洞型。特殊岩类油藏(含火成岩、砾岩、泥岩类)储量很少,不作详细分类只加渗透性描述,如高渗透(中渗透、低渗透)砾岩油藏。

(5) 依据岩石物性分为高渗透、中渗透、低渗透三级,贯穿每类油藏。

(6) 天然能量开发油藏一般用于油藏开发初期,或者不能形成注采井网的少数油藏,其采收率主要受驱动类型控制。根据天然驱动类型进一步细分:弹性驱油藏、溶解气驱油藏、气顶驱油藏、重力驱油藏、边水驱油藏、底水驱油藏。

(7) 根据2002年统计结果,热采稠油只有胜利油田和河南油田有少量分布,不足总储量的10%,不作详细分类,只加渗透性描述,如高渗透(中渗透、低渗透)热采稠油油藏。

(8) 对于胜利油田、河南油田,由于稠油储量较多,分类时还必须考虑原油物性。

3 综合分类与命名

将主要依据按顺序组合命名。如注水开发砂岩油藏综合命名为:高渗透(中渗透、低渗透)构造(岩性、地层、复杂断块、复合圈闭)砂岩(碳酸盐岩、特殊岩类)稀油(常规稠油)油藏(表2)。天然能量开发油藏综合命名为:高渗透(中渗透、低渗透)弹性驱(溶解气驱、气顶驱、重力驱、边水驱、底水驱)砂岩(替换岩石类型)油藏(表2)。

表 2 油藏综合分类

Table 2 Comprehensive classification of oil reservoirs

开发方式	分 类 依 据			综 合 命 名
	岩石类型	圈闭类型	渗透率	
注水开发油藏 (根据粘度可进一步分为稀油和常规稠油)	砂岩油藏	构造	分为高渗透、中渗透、低渗透三级	高渗透(中渗透、低渗透)构造砂岩油藏
		岩性		高渗透(中渗透、低渗透)岩性砂岩油藏
		地层		高渗透(中渗透、低渗透)地层油藏
		复杂断块		高渗透(中渗透、低渗透)复杂断块油藏
		复合		高渗透(中渗透、低渗透)复合圈闭油藏
	碳酸盐岩油藏			略
特殊岩类油藏		据渗透率分为高、中、低	高渗透(中渗透、低渗透)火成岩(砾岩)油藏	
天然能量开发	分 类 依 据			综 合 命 名
	驱动类型	渗 透 率		
	弹性驱	根据渗透率分为高、中、低三级		高渗透(中渗透、低渗透)弹性驱油藏
	溶解气驱			高渗透(中渗透、低渗透)溶解气驱油藏
	气顶驱			高渗透(中渗透、低渗透)气顶驱油藏
	重力驱			高渗透(中渗透、低渗透)重力驱油藏
	边水驱			高渗透(中渗透、低渗透)边水驱油藏
底水驱			高渗透(中渗透、低渗透)底水驱油藏	
热采稠油		据渗透率分为高、中、低	高渗透(中渗透、低渗透)热采稠油油藏	

注: 1. 稠油油藏指地层原油粘度大于或等于50 mPa·s和相对密度大于0.92 g/cm³的油藏, 根据需要可分为常规稠油和热采稠油油藏;
2. 渗透率单位为10⁻³ μm²。

参 考 文 献

1 国家石油和化学工业局. 石油可采储量计算方法. 中华人民共和国石油天然气行业标准(SY/T5367- 1998) [S]. 1998

2 杨通佑, 范尚炯, 陈元千, 等. 石油及天然气储量计算方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997

3 刘中云, 唐周怀. 润湿性对采收率及相对渗透性的影响[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 148~ 150

4 彭敦陆, 徐士进. 神经网络系统在预测石油可采储量上的应用[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 129~ 132

5 郭齐军. 对油田剩余经济可采储量及评估的讨论——以东辛油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 309~ 312

6 中国石油天然气总公司. 油气田储层评价方法. 中华人民共和国石油天然气行业标准(SY/T6285- 1997) [S]. 1997

7 中国石油天然气总公司. 油气田开发工程常用术语(SY/T6174- 1995, 1996- 6- 30) [S]. 1995, 1996

8 葛家理, 宁正福, 刘月田, 等. 现代油藏渗流力学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 385

9 国家标准局. 石油储量规范(GBn269- 88, 1988- 10- 01) [S]. 1988

10 中国石油天然气总公司. 油藏分类. 中华人民共和国石油天然气行业标准(SY/T6169- 1995) [S]. 1995

11 查全衡. 石油天然气资源经营管理基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 177

(上接第 308 页)

5 信荃麟. 东濮凹陷黄河南地区盆地分析及油气评价[M]. 东营: 石油大学出版社, 1992. 100~ 119

6 杨香华. 东濮凹陷盐湖层序结构与隐蔽油气藏[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 139~ 142

7 金强, 黄醒汉. 东濮凹陷早第三纪盐湖成因的探讨——一种深水成因模式[J]. 华东石油学院学报, 1985, 9(1): 1~ 3

8 顾家裕. 东濮凹陷盐岩形成环境[J]. 石油实验地质, 1986, 8(1): 22~ 28

9 林又玲, 吴贤涛, 潘结南. 东濮凹陷老第三系沙河街组盐类沉积模式新见[J]. 古地理学报, 2000, 4(2): 67~ 74

10 赵志清, 吕红玉. 东濮凹陷盆地晚始新世生物群及其古环境的探讨[J]. 微体古生物学报, 1988, 5(3): 315~ 322

11 张功成. 南华北中、新生代盆地构造特征及其石油地质意义[J]. 断块油气田, 1998, 6(5): 1~ 9

12 张世奇, 纪友亮. 陆相断陷湖盆层序地层学模式探讨[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(5): 20~ 23

13 郑鸿稳. 东濮凹陷下第三系层序地层学模式[J]. 石油学报, 2002, 23(4): 24~ 28

14 王燮培, 宋廷光. 从松辽盆地的构造反转看中国东部盆地构造圈闭的形成[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1996, 21(4): 373~ 382

15 史卜庆, 吴智平. 渤海湾盆地东营运动的特征及成因分析[J]. 石油实验地质, 1999, 21(3): 196~ 200

16 赵文智, 何登发. 石油地质综合研究导论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 535~ 546

17 任战利, 冯建辉. 东濮凹陷杜桥白地区天然气藏的成藏期次[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 376~ 381