

文章编号:1001-6112(2012)05-0490-05

新增探明储量采收率预测方法评价与研究

王树华,许静华

(中国石油化工股份有限公司 勘探开发事业部,北京 100728)

摘要:新增探明储量由于资料所限,不能采用动态法标定可采储量,最常用的方法是类比法、经验公式法和经验值法等,如何准确预测采收率是合理计算可采储量和新增探明储量评审工作的技术关键与难点。该文在充分调研采收率预测现状与存在的主要问题基础上,对比新增探明储量各种采收率预测方法优、缺点,提出了新增探明储量采收率预测方法顺序为经验值法(小型油藏)—类比法验证(中型油藏)—经验公式法—综合地质法—数值模拟法进一步验证(大型油藏),建立适合本公司油藏地质特征的类比序列和经验值标准,为新增探明储量采收率预测提供依据。

关键词:新增储量;可采储量;采收率预测;储量计算

中图分类号:TE15

文献标识码:A

Evaluation and study of recovery rate prediction method for newly-proved reserves

Wang Shuhua, Xu Jinghua

(E&P Department, SINOPEC, Beijing 100728, China)

Abstract: For the newly-proved reserves, dynamic methods are not qualified to predict recoverable quantity due to the lack of production data. The methods used most widely include analogy, empirical formula and empirical value methods. It is difficult and believed to be the technical key point to accurately predict recovery rate in review of the calculation of newly-proved and recoverable reserves. According to the current situations and problems of recovery rate prediction, it has been presented in this paper the merits and demerits of all kinds of methods for recovery prediction. The selection-order of these methods is from empirical value method (small field), analogy verification method (medium field), empirical formula method, comprehensive geological method to numerical modeling for further verification (big fields). The analogy series and empirical value standards applicable to the SINOPEC oil fields have been built, providing supports for the recovery rate prediction of newly-proved reserves.

Key words: newly-proved reserves; recoverable reserves; recovery rate prediction; reserve calculation

油气储量是油公司重要的资源基础,是编制开发规划、制定产能规模的重要依据。新增探明储量主要采用容积法计算储量,确定可采储量大小的关键是采收率。采收率既是衡量开发效果和开发水平重要的综合参数,也是开发工程师努力追求的重要指标。由于资料所限,新增探明储量不能采用动态法标定,最常用的方法是类比法、经验公式法和经验值法^[1]。如何准确预测采收率是合理计算可采储量和储量评审工作的技术关键与难点。

1 中外采收率预测方法及技术对比

1.1 新增探明储量采收率预测方法对比

国外油气田可采储量主要是通过价值评估来

确定的,确切地说是经济可采储量。新探明的油气田计算储量流程为:容积法计算地质储量—类比法估计采收率、计算技术可采储量—初步编制产量预测方案—通过现金流法完成经济可采储量计算及价值评估。至于地质储量类比法估计的技术采收率准确与否,他们并不十分关心。由于中国特有的储量管理模式,储量管理序列是地质储量、可采储量、经济可采储量,另一方面也是进一步勘探、开发投资和编制开发方案的重要依据^[2-5]。因此,新增探明储量采收率预测在相当长的一段时间内仍是储量计算的重要环节和难点^[6-8]。

Ryder Scott Company, LC. (RSC)公司是1937年成立的第一家美国石油资源咨询公司,现以该公司

收稿日期:2012-05-17;修订日期:2012-08-28。

作者简介:王树华(1962—),女,高级工程师,从事油气储量评审和管理工作。E-mail:wshuhua@sinopec.com.cn。

基金项目:中国石化科技攻关项目“鄂尔多斯盆地油气成藏规律与主控因素研究”(P05041)资助。

表1 新增探明储量采收率预测方法对比

Table 1 Comparison of recovery rate prediction methods for newly-proved reserves

开发阶段	资料来源	计算方法		精度与影响因素	
		国内	RSC	国内	RSC
未开发	仅有静态资料	经验公式法、表格估算法、类比法、综合地质法与数值模拟法	经验公式类比法	精度取决于表格估算法与类比对象可信度,经验公式代表性,操作者对预测对象地质特征的了解	精度取决于经验公式代表性和操作者经验,误差范围在10个百分点
开发前期	静态资料完整、少量动态资料	经验公式法、类比法综合地质法、数值模拟法	经验公式类比法	影响因素与未开发阶段相同,但由于动态资料的介入,精度相对有所提高	可参考少量生产资料,精度有所提高,误差范围在5个百分点

为例,说明中、外新增探明储量采收率预测方法差异。如表1所示,RSC公司主要采用经验公式法与类比法预测采收率,其精度取决于公式样本的代表性与操作者经验。如果操作者经验丰富、掌握足够的已知油田采收率经验值,不可否认,经验值类比法是快速、简捷的预测方法。相比之下,中国的油公司采用多种方法相互印证,精度较高。由于各方面条件限制,目前最常用的还是经验公式法、类比法与经验值法;精度取决于公式代表性、类比对象与经验值的可信度。虽然中外采用的主要方法有所不同,但是随着开发阶段的深入,精度都是不断提高。

1.2 石油采收率经验值对比^[9]

中国石化油区40多个高采出程度油藏开发资料统计结果表明(表2),由于中国油气藏以碎屑岩储层为主,储集层非均质性强,天然能量较弱,投入开发不久产量开始递减;为了保证产量,绝大部分油藏采用早期注水。因而,石油一次采收率偏低

(1.9%~12.5%),二次采收率较高(10.3%~48.3%)。国外主要采油国家采收率统计结果表明,与中国相反,其一次采收率达15%~44.8%,而二次采收率很低,为3.8%~17.8%。可见,在强调与国际接轨、借鉴国外经验时,不能忽视中国特有的地质条件和管理模式。

2 采收率预测存在的主要问题

(1)除少数分公司外,石油已开发储量标定采收率一般要比累计探明储量采收率高;而天然气累计探明储量采收率一般要比已开发储量标定采收率高。

(2)无论是累计探明储量采收率,还是已开发储量采收率,各地区都存在比较大的差异。除地质条件差异外,不排除其他人为因素。

(3)以胜利油田分公司的河滩油田某油藏为例,水驱标定的采收率为36%;国家储委办提供的经验公式计算为48.7%;综合地质法计算为62.7%;

表2 中、外石油采收率对比

Table 2 Comparison of recovery rate between domestic and foreign oil fields

外国主要采油国家采收率			中国石化主要油田采收率		
国家或地区	一次采收率/%	二次采收率/%	油田或油藏	一次采收率/%	二次采收率/%
美国	28.6	4.7	东部岩性油藏	3.2~4.9	15.6~23.4
委内瑞拉	17.6	3.2	东部构造油藏	3.5~6.5	22.6~48.4
加拿大	23.8	5.6	东部断块油藏	1.9~3.2	15.3~30.3
西半球	24.7	4.2	东部常规稠油油藏	1.3~4.3	18.9~29.1
巴林	22.8	4.3	东部高渗透油藏	7.2~9.6	11.5~36.3
伊朗	22.8	8.1	东部中渗透油藏	4.5~8.6	18.6~29.3
伊拉克	30.1	10.6	东部低渗透油藏	3.1~4.6	15.2~21.8
沙特阿拉伯	18.6	13.8	东部复杂断块油藏	3.7~5.9	13.7~28.2
中东	26.3	12.1	东部复合油藏	3.5~9.2	10.3~50.4
法国	44.8	10.8	东部复杂构造油藏	3.2~5.5	25.1~45.4
德国	29.6	14.4	东部断块小型油藏	2.2~3.8	22.2~38.4
利比亚	22.7	5.0	东部低复杂程度油藏	3.3~4.2	25.2~35.3
撒哈拉	15.0	4.9	东部中复杂程度油藏	4.5~5.3	15.0~23.2
平均	26.3	8.2	东部高复杂程度油藏	8.2~12.5	3.4~5.7

表3 胜利油田某断块不同经验公式计算结果对比

Table 3 Recovery rates calculated by different empirical formulas in some block of Shengli Oil Field

公式来源	采收率/%
国家储委推荐公式	29.8
陈元千公式	33.0
万吉业公式	37.0
胜利油田经验公式	28.6
新增阶段动态标定	27.5

胜利油田经验公式计算为41.3%。显然,不同方法计算的采收率差别较大,究竟哪一种方法最适合有待规范。

(4)胜利油田分公司东辛某断块油藏储层渗透率为 $531 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、孔隙度为29%、地下粘度为 $20 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 、井网密度为 $4.3 \text{ 口}/\text{km}^2$ 。为了更准确地计算采收率,我们采用了多种公式,结果发现相同油藏不同计算公式差别也较大(表3)。如果以动态标定结果作为参照物,胜利油田经验公式和国家储委推荐公式比较接近。

(5)1995年颁发的油气田开发工程常用术语(SY/T6174-1995)将采收率定义为:采出量占原始地质储量的百分率^[10];并进一步分为无水采收率、稳产期采收率与最终采收率等,显然不同开发阶段采收率是不同的。目前公司新增探明储量预测采收率采用最多的是类比法,采收率所代表开发阶段必然取决于类比对象。换句话说,同类油藏由于类比油藏开发阶段不同也可以造成新的误差。因此,必须界定新增探明储量预测采收率所代表的开发阶段。

3 综合评价

目前国内石油通用的采收率计算方法大体分为静态和动态两类。适合勘探阶段或者开发初期阶段油藏的静态方法主要有:类比法、经验公式法、经验值法(表格算法)、地质综合法和数值模拟法5种。根据行业标准SY/T5367-1998推荐^[11]。未开发或开发前阶段石油可采储量计算方法主要

为:类比法、经验公式法、经验值法3种。

3.1 类比法

行业标准^[12]规定,“待投入开发的油田,根据油藏驱动类型、储层物性、流体性质、井网密度和非均质性同已开发油田类比,选取适当的采收率计算可采储量”。由于油藏地质特征的复杂性、类比对象本身不确定性,必然造成待定油藏采收率的不确定性与误差。但是对于新增储量,在动态资料缺乏的条件下,是一种快速的评价方法;如果类比参数选择得当,同时类比对象采收率合理、可靠,同样可以获得比较合理的取值。因此类比法的关键在于:1)类比参数的确定,例如储集岩物性、原油性质与油藏性质等;2)类比对象的可信度,例如是否投入开发、是否经过可采储量标定等;3)类比对象所处开发阶段的一致性,目前各油田通常将开发阶段划分为:天然能量开采期、一次井网开采期、二次井网开采期、调整井网开采期和综合治理开采期。各种分类大致对应关系见表4。

为了保证技术可采储量的可靠性和可动用性,本文建议未开发—开发初期油藏一般采用合理井网条件下标定的采收率计算可采储量。即不考虑综合治理与三采等提高采收率技术所增加的可采储量,这一增加空间留给开发部门完成。

3.2 经验公式法

采收率计算经验公式国内外研究较多,按研制单位大体可分为国家管理机构、名人专家、地区研制与国外4大类经验公式。尽管公式所用参数略有不同,但研制原理却大致相同,都是根据与采收率相关的油藏地质、开发特征,采用多元回归的数理统计方法建立而成^[12]。与其他方法相比,经验公式法计算的采收率是唯一的,不受操作者影响。然而大多数的经验公式源于油田的实际资料,因而其局限性在所难免,使用时应严格遵守适用范围。

以水驱砂岩油田采收率经验公式为例,主要参数有孔隙度、渗透率、粘度与井网密度。1999年国家石油和化学工业局发布的“石油可采储量计算方法”^[11]推荐开发前阶段采收率计算公式包括:水

表4 不同开发阶段划分方案对比

Table 4 Correlation of development stages divided by different parameters

	开发特征	含水率	产量	开发方式
开发阶段	天然能量开采阶段	无—低含水采油阶段	产能建设阶段	一次采油
	基础井网(一次井网)开采阶段	中—低含水采油阶段	高产(较高产)、 稳产阶段	二次采油
	调整井网开采阶段	中—高含水采油阶段		
	综合治理开采阶段	高—特高含水采油阶段	产量递减阶段、 低产收尾阶段	二次采油

驱砂岩油田、底水碳酸盐岩油田、水驱砾岩油田、溶解气驱油田采收率经验公式。以水驱砂岩油田采收率经验公式为例,对于一个固定的油藏,油藏地质条件一般变化不会太大,而井网密度却随着开发阶段变化而变化。因此,就经验公式法而言,采收率值大小很大程度取决于井网密度;一般开发前阶段井网密度都小,所以其计算的采收率值也偏低。

$$E_R = 0.05842 + 0.08461 \lg \frac{K}{\mu_o} + 0.3464\varphi + 0.003871f$$

式中: E_R 为采收率, K 为渗透率, μ_o 为原油粘度, φ 为有效孔隙度, f 为井网密度。

3.3 经验值法(表格估算法)

所谓经验值法实际是类比法的特例,也是通过大量不同类型油气藏实际统计结果,归纳而成的经验值。通常用固定的表格方式记录下来,所以也叫表格估算法,采收率预测值的精度取决于这些经验值可信度。表5为1999年国家石油和化学工业局发布的“石油可采储量计算方法”所推荐的不同驱动方式采收率经验值。然而影响采收率的因素是多方面的,这种单因素的对比意义不是很大,区间跨度也太宽。而且中国石化油公司目前绝大部分油藏都是早期注水开发,与天然能量驱动关系不大。因此,需要探讨多因素的类比经验值,并细化经验值的区间。

为此,笔者在大量已开发油藏解剖基础上,根据影响采收率主要因素,研制了中国石化探区未开发—开发初期注水开发砂岩油藏(稀油)采收率经验值(表6)。表6在实际应用时,每一单相可根据储层非均质性分为高、中、低3档取值。

3.4 地质综合法

该方法以油藏类型和能否形成注采系统为基础,充分考虑可能影响开发效果的各种因素,采用综合计分的方法,使采收率标定值接近开发实际^[13]。

表5 不同驱动类型油藏采收率经验值^[11]

Table 5 Empirical values of recovery rates of oil fields with different drive systems

驱动类型	采收率
液体和岩石弹性驱动	0.02 ~ 0.05
溶解气驱	0.12 ~ 0.25
油环气顶驱	0.20 ~ 0.40
重力驱	0.50 ~ 0.70
边水驱	0.35 ~ 0.60
底水驱	0.20 ~ 0.60
注水驱	0.25 ~ 0.60

表6 中国石化未开发—开发初期注水开发砂岩油藏采收率经验值

Table 6 Empirical values of recovery rates of water-flood sand fields in undeveloped—early developed stages (for SINOPEC fields)

圈闭类型	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	综合命名	采收率/%
构造	≥ 500	高渗透构造砂岩油藏	35 ~ 45
	50 ~ 500	中渗透构造砂岩油藏	25 ~ 35
	≤ 50	低渗透构造砂岩油藏	15 ~ 25
岩性	≥ 500	高渗透岩性砂岩油藏	25 ~ 30
	50 ~ 500	中渗透岩性砂岩油藏	20 ~ 25
	≤ 50	低渗透岩性砂岩油藏	10 ~ 20
地层	≥ 500	高渗透地层砂岩油藏	20 ~ 30
	50 ~ 500	中渗透地层砂岩油藏	15 ~ 20
	≤ 50	低渗透地层砂岩油藏	10 ~ 15
复杂断块	≥ 500	高渗透复杂断块砂岩油藏	20 ~ 25
	50 ~ 500	中渗透复杂断块砂岩油藏	15 ~ 20
	≤ 50	低渗透复杂断块砂岩油藏	10 ~ 15
复合	≥ 500	高渗透复合圈闭砂岩油藏	30 ~ 35
	50 ~ 500	中渗透复合圈闭砂岩油藏	20 ~ 30
	≤ 50	低渗透复合圈闭砂岩油藏	10 ~ 20

注:复杂断块油藏指含油面积小于1 km²的油藏。

其操作程序包括2个步骤:首先是根据油藏类型和注采系统确定基本分;然后根据采收率影响因素的修正系数增减基本分,使结果尽量接近实际值。由于在基本分和修正参数的研究中加入了定量分析,与定性类比法相比,所考虑的油藏地质特征参数更加全面,研究结果更加客观。但是,地质综合法技术关键是各种参数修正值的合理性,公式中需要的某些动态资料新增储量仍然难以获得,导致方法的实用性受到局限。目前中国石化油公司内,胜利油田分公司、江苏油田分公司都研究出了适合本地区的地质综合评价公式。

3.5 数值模拟法

数值模拟法^[7]是根据油气藏的地质特征建立模型,并选择与之相对应的数学模型和软件,在生产拟合成功后的参数基础上预测油气藏废弃的累积产量,即为可采储量。该方法一方面由于缺乏动态资料,地质模型难以建立;另一方面,为了保证最终可采储量准确性,一般需进行多个开采方案的预测对比,其工作量大,一般仅适用于新的大中型油田。

4 结论与建议

1) 原油采收率是有阶段性的,为了保证相同油藏类型的可比性,建议新增探明储量采收率与同类油藏合理井网下已开发油藏采收率类比取值。

2) 建议新增探明储量采收率预测方法顺序为

经验值法(小型油藏)—类比法验证(中型油藏)—经验公式法—综合地质法—数值模拟法进一步验证(大型油藏)。

3)为了保证公司内采收率可比性与准确性,建议建立适合本公司油藏地质特征的类比序列和经验值标准。

4)选择类比参数与顺序:可能采用的开发方式—综合油藏类型—渗透性—流体性质—井网密度。类比顺序:同油藏—同油区—国内—国外。

5)建议经验公式使用顺序:当地公式—国家储委推荐公式—专家推荐公式—国外经验公式。

参考文献:

[1] 吕鸣岗,程永才,袁自学,等. DZ/T0217-2005 石油天然气储量计算规范[S]. 北京:中国标准出版社,2005.

[2] 罗毅,蔡勋育,吕立勇. 百色盆地东部坳陷终极资源量预测与勘探方向[J]. 石油实验地质,2011,33(2):215-218.

[3] 刘斌. 油田经济规模产量计算方法研究[J]. 断块油气田,2010,17(4):466-468.

[4] 杨敏,靳佩. 塔河油田奥陶系缝洞型油藏储量分类评价技

术[J]. 石油与天然气地质,2011,32(4):625-630

[5] 袁丽. 地层不整合遮挡油气藏地质储量计算新方法及其应用[J]. 地球科学与环境学报,2011,33(2):163-167.

[6] 吕爱民,姚军,周文胜,等. 内嵌经济条件的采收率预测图版[J]. 油气地质与采收率,2011,18(3):49-52.

[7] 陈超,孔令福,黄祥光,等. 兴隆台潜山带变质岩油藏采收率计算方法[J]. 油气地质与采收率,2011,18(5):44-47,62.

[8] 刘睿,姜汉桥,刘同敬,等. 复杂小断块边水油藏采收率预测新方法[J]. 油气地质与采收率,2010,17(1):64-67.

[9] 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,1998.

[10] 中国石油天然气总公司. SY/T6174-1995 油气田开发工程常用术语[S]. 北京:中国标准出版社,2005.

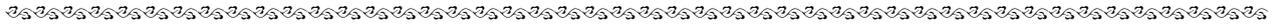
[11] 国家石油和化学工业局. SY/T5367-1998 石油可采储量计算方法[S]. 北京:中国标准出版社,1998.

[12] 国家石油和化学工业局. SY/T6098-2000 天然气可采储量计算方法[S]. 北京:中国标准出版社,2000.

[13] 陈元千. 实用油气藏工程方法[M]. 东营:石油大学出版社,1998.

[14] 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.

(编辑 徐文明)



(上接第 489 页)

[5] 何登发,陈新发,张义杰,等. 准噶尔盆地油气富集规律[J]. 石油学报,2004,25(3):1-10.

[6] 李娜,刘淑惠,雷玲,等. 准噶尔盆地油气储量、产量增长规律及趋势预测[J]. 新疆地质,2003,21(4):445-449.

[7] 张明玉,何爱东,单守会,等. 准噶尔盆地西北缘油砂资源潜力及开采方式探讨[J]. 新疆石油地质,2009,30(4):543-545.

[8] 何登发,张义杰,王绪龙,等. 准噶尔盆地大油气田的勘探方向[J]. 新疆石油地质,2004,25(2):117-121.

[9] 侯连华,邹才能,匡立春,等. 准噶尔盆地西北缘克一百断裂带石炭系油气成藏控制因素新认识[J]. 石油学报,2009,30(4):513-517.

[10] 王芙蓉,何生,何治亮,等. 准噶尔盆地腹部地区深层砂岩储层孔隙特征研究[J]. 石油实验地质,2010,32(6):547-552.

[11] 匡立春,吕焕通,齐雪峰,等. 准噶尔盆地岩性油气藏勘探成

果和方向[J]. 石油勘探与开发,2005,32(6):32-37.

[12] 贾承造. 油砂资源状况与储量评估方法[M]. 北京:石油工业出版社,2007.

[13] 陈世加,展燕,路俊刚,等. 准噶尔盆地腹部石南 31 井白垩系油气成因与运移方向[J]. 石油实验地质,2010,32(4):382-386.

[14] 张恺. 中国大陆板块构造与含油气盆地评价[M]. 北京:石油工业出版社,1995.

[15] 新疆油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志·新疆油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1993.

[16] 刘传虎. 胜利西部新区油气勘探开发论文集[C]. 北京:石油工业出版社,2006.

[17] 王屿涛,王峰,乔文龙. 准噶尔盆地天然气勘探及储量增长对策和措施[J]. 中国石油勘探,2006(3):18-23.

[18] 王卓飞,蒋宜勤,嗣全. 准噶尔盆地侏罗系低渗透油气储层特征及成因探讨[J]. 断块油气田,2003,10(5):23-36.

(编辑 韩 或)