

文章编号:1001-6112(2012)05-531-04

# SEC 准则递减曲线法在储量评估中的应用

——以王集油田为例

薛国勤<sup>1</sup>, 余强<sup>2</sup>, 赵创业<sup>3</sup>, 王铭方<sup>2</sup>, 李慧<sup>2</sup>, 余小红<sup>2</sup>

(1. 中国石油化工股份有限公司 河南油田分公司 开发事业部, 河南 南阳 473132;

2. 中国石油化工股份有限公司 河南油田分公司 石油勘探开发研究院, 河南 南阳 473132;

3. 中国石油化工股份有限公司 河南油田分公司 采油二厂, 河南 唐河 473400)

**摘要:** SEC 上市油气储量评估中已开发储量的评估常用的是递减曲线法, 主要应用于油田开发中后期剩余经济可采储量的评估。通过递减曲线法在王集油田的应用分析认为, 对于开发中后期的油田, 在应用递减曲线法进行评估时, 应根据油气田已有的开发生产规律和目前所处开发阶段, 合理选择产量递减曲线类型和递减率, 使其符合目前开发阶段油田实际开发趋势, 达到评估结果客观、准确。

**关键词:** 递减曲线法; 递减类型; 递减率; 储量评估; 上市储量; 王集油田

中图分类号: TE15

文献标识码: A

## Application of diminishing curve method in SEC standard evaluation of oil and gas reserves:

A case study in Wangji Oil Field

Xue Guoqin<sup>1</sup>, Yu Qiang<sup>2</sup>, Zhao Chuangye<sup>3</sup>, Wang Mingfang<sup>2</sup>, Li Hui<sup>2</sup>, Yu Xiaohong<sup>2</sup>

(1. Development Division, SINOPEC Henan Oilfield Company, Nanyang, Henan 473132, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC Henan Oilfield Company, Nanyang, Henan 473132, China; 3. No. 2 Oil Plant, SINOPEC Henan Oilfield Company, Tanghe, Henan 473400, China)

**Abstract:** In the evaluation of proved developed reserves of SEC, the diminishing curve method was commonly used to judge the remaining economic recoverable reserves during the middle and late periods of oil field exploration. A case study was carried out in the Wangji Oil Field and proved that proper curve type and diminishing rate should be chosen based on the present exploration principle and stage. In this way, evaluation results will be more objective and accurate.

**Key words:** diminishing curve method; diminishing type; diminishing rate; reserve evaluation; SEC petroleum reserve; Wangji Oil Field

在美国证券交易所上市的石油公司, 年报中披露的储量包括证实已开发储量和证实未开发储量, 证实已开发储量是指通过现有井采用现有设备和操作方法, 预期可采出的油量。根据 SEC 储量评估准则, SEC 储量评估的主要方法有容积法、递减曲线法、物质平衡法和类比法, 对于证实已开发储量适合采用动态法进行评估的单元, 以递减曲线法为主, 估算其储量及其价值<sup>[1-7]</sup>。

目前中国石化油田储量动用程度高, 且已开发油田大部分处于开发中后期, 递减曲线法在储量动态评估方法中被广泛应用, 因此, 开展在 SEC 准则

下证实已开发储量递减曲线方法在 SEC 储量评估中的合理应用研究, 对储量评估的准确性、合理性具有重要的指导意义。

### 1 递减曲线评估方法

国际上通用的动态评估方法有 5 种<sup>[2]</sup>: 产量与时间关系曲线、产量与累计产量关系曲线、含水量与累计产量关系曲线、含油量与累计产量关系曲线和水油比与累计产量关系曲线, 其中产量与时间关系曲线法应用最广泛。所谓递减曲线法实际上就是对产量—时间曲线及产量—累计产量曲线的分

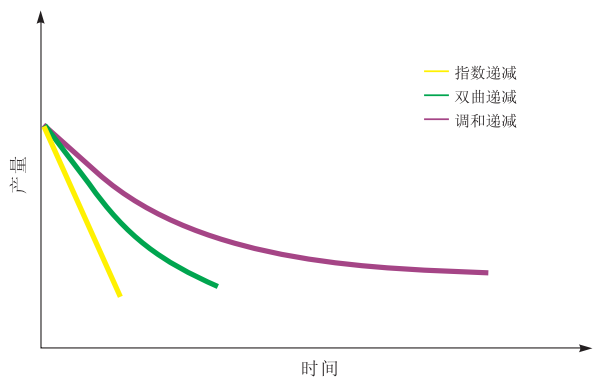


图 1 三种递减类型图解

Fig. 1 Three types of diminishing curves

析,根据已有的曲线趋势外推未来的产量。

递减曲线法主要是针对开发时间较长、并且有一定油水运动规律的油气藏进行储量评估。按照 SEC 准则,当一个油田投入开发半年以后,就可采用递减曲线法进行动态储量评估,如果该油田或区块开采时间长且处于开发后期,使用该方法评估效果最好。

递减曲线法主要分 3 种类型:指数递减、双曲递减、调和递减。其数学公式模型及图解(图 1)如下:

指数递减数学表达式: $Q = Q_i - DN_p$ ,产量( $Q$ )和累计产量( $N_p$ )能形成相关系数很高的直线;

双曲递减数学表达式: $N_p = \frac{n}{n-1} \frac{Q_i}{D_i} \left[ 1 - \left( \frac{Q_i}{Q} \right)^{\frac{1-n}{n}} \right]$ ,产量( $Q$ )和累计产量( $N_p$ )无线性关系;

调和递减数学表达式: $\lg Q = \lg Q_i - \frac{D_i}{2.303 Q_i} N_p$ ,产量( $\lg Q$ )和累计产量( $N_p$ )能形成相关系数很高的直线。

式中: $Q$ 为月产油量; $Q_i$ 为初始月产油量; $D$ 为月产量递减率; $D_i$ 为月产量初始递减率; $N_p$ 为累计产油量; $n$ 为递减指数。

该方法步骤是先根据原油产量递减曲线分析确定递减类型,再根据规律曲线拟合递减率,预测未来的产量,然后根据矿权开采年限、油价、操作费、税率等计算剩余经济可采储量。

这种方法主要用于预测油田产量与时间的变化关系,评估油田在经济极限产量条件下的证实已开发储量。从近几年 SEC 储量评估结果来看,外方评估师主要采用产量递减曲线法,其他方法仅用来参考。

## 2 递减类型的确定

采用递减曲线法预测产量时,首先要确定递减

类型,其次通过分析选择有规律的数据段外推。判断的方法常有图解法、试凑法、曲线位移法、降比法、二元回归法、牛顿迭代法、相关系数比较法、水驱曲线法等<sup>[3]</sup>,在矿场上常采用的方法为图解法和试凑法,SEC 准则主要采取图解法。

### 2.1 图解法

图解法是一种简单快速进行判断的方法,其理论来源于 3 种递减类型的理论数学公式,作用是用来判断是否是指数递减。

具体做法是将油气田递减阶段的产量、累计产量和相应的生产时间数据,根据每种递减类型的直线关系作图,若在普通直角坐标上, $Q$ 和 $N_p$ 能形成相关系数很高的直线,就属于指数递减类型。在半对数坐标上 $\lg Q$ 与时间 $t$ 能形成比较好的直线关系,也属于指数递减类型。若在半对数图纸上 $\lg Q$ 与 $N_p$ 能形成很好的直线关系,则属于调和递减类型。除此以外则考虑是否属于双曲线递减类型。

当由图解法判断递减类型之后,需要利用线性回归法,确定直线的截距、斜率和相关系数,并由直线的截距和斜率确定递减参数,建立其相关经验公式,进行未来的产量预测。

### 2.2 试凑法

当图解法判断不是指数递减时,为了区分双曲递减和调和递减,可用试凑法进行判断。该方法根据双曲递减数学公式: $\left(\frac{1}{Q}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{1}{Q_i}\right)^{\frac{1}{n}} + \frac{D_i}{n} \left(\frac{1}{Q}\right)^{\frac{1}{n}} t$

$$\text{设: } A = \left(\frac{1}{Q_i}\right)^{\frac{1}{n}}, B = \frac{D_i}{n} \left(\frac{1}{Q_i}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\text{代入上式得: } \left(\frac{1}{Q}\right)^{\frac{1}{n}} = A + Bt$$

所谓试凑法,就是根据实际生产的产量和相应的时间,给定不同的 $n$ 值,计算 $\left(\frac{1}{Q}\right)^{\frac{1}{n}}$ 与 $t$ 的对应数值画在坐标纸上,能成一条直线的,则所求的 $n$ 值正确。如果 $n$ 值偏大,则是一条向下弯曲的曲线; $n$ 值偏小,则是一条向上弯曲的曲线(图 2)。

当试凑法得到一条直线,可由 $n$ 值判断递减类型,利用线性回归求得截距和斜率,计算出初始递减率。

### 2.3 应用实例

从王集油田历史产量曲线上分析,在 2000 年 4 月—2001 年 5 月、2005 年 6 月—2006 年 8 月、2008 年 10 月—2009 年 9 月 3 个时间段,单井月产油量出现有规律性的递减(图 3)。

绘制月产油与时间的半对数曲线可看出,2000

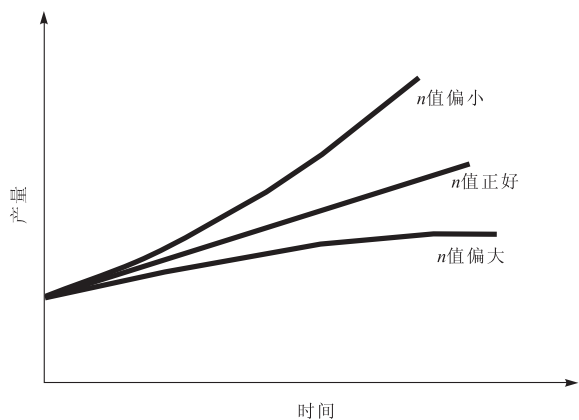


图2 试凑法确定产量和时间的关系

Fig. 2 Output and time calculated by trial and error method

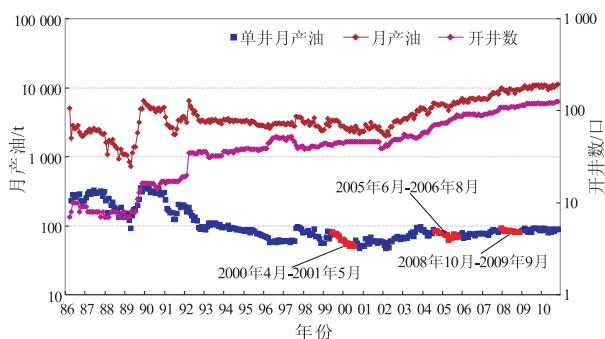


图3 王集油田单井月产油变化曲线

Fig. 3 Output curves in single month, Wangji Oil Field

年4月—2001年5月、2005年6月—2006年8月这2个时间段,  $\lg Q$  与  $t$ 、 $Q$  与  $N_p$  均呈明显的直线关系,可判断该区间段月产油数据呈指数递减类型(图4)。

而2008年10月—2009年9月时间段,产量递减趋势减缓,利用试凑法计算  $n$  值为 0.999,拟合公式为  $(1/Q)^{\frac{1}{0.999}} = 0.00872 + 1.038998t$ ,接近于调和递减。

### 3 在王集油田 SEC 评估中的应用

#### 3.1 地质特征

王集油田区域构造位置位于泌阳凹陷北部斜坡带东北部,总体上为一宽缓的、向南部深凹区倾没的鼻状构造,油藏类型为一注水开发复杂断块稀油油藏,地质储量  $974.5 \times 10^4$  t,可采储量  $268.1 \times 10^4$  t,采出程度 13.7%,综合含水 78.61%。自1977年投产以来,经过30多年的开发已经进入中—高含水开发阶段,自2002年以来,多次对王集油田实施了井网加密完善调整,产量呈逐步上升趋势。

#### 3.2 评估条件分析

在SEC储量评估中,正确的递减曲线分析应

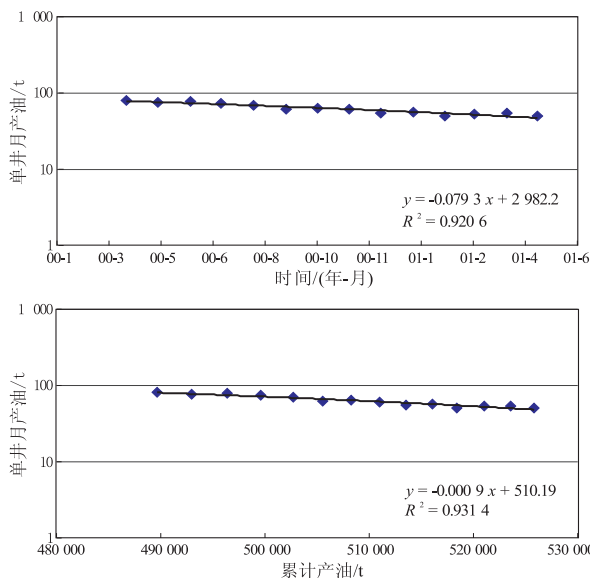


图4 王集油田2000年4月—2001年5月期间各参数关系曲线

Fig. 4 Parameter relations from April of 2000 to May of 2001, Wangji Oil Field

具备以下条件:井的操作条件保持不变、油藏条件不能急剧变化、井/油藏在正常条件下生产、未来趋势必须与已有的趋势一致。在油田不断调整,不断有新的开发井投入生产,油田的产量会维持在较高水平,不递减或递减规律不明显。此时,若进行动态法储量评估,递减类型、递减率的确定很关键。

产量递减类型随着现场重大调整措施、开采方式、开发年限等因素而发生变化,所以递减类型不是固定不变的。在递减初期,多为指数递减或直线递减;递减中后期,一般符合双曲线递减类型。在选择预测数据段时,重点考虑油藏开发的动态变化,尤其是近期的动态变化。

#### 3.3 评估结果

如王集油田这种产量上升趋势的油田,在确定其递减率的时候,外方评估师根据平均单井产量递减规律,结合含水率变化趋势,选取规律性产量数据递减段拟合递减率、确定递减类型。

如图5,选取2008年10月—2009年9月时间段单井月产量数据,开井数稳定在108口,开发方式不变,生产条件稳定,符合SEC准则中评估结果要反映油藏近期动态变化趋势的要求。在递减类型的判断上,由于该单元目前处于中高含水阶段(含水78.61%),含水呈上升趋势,结合井网加密完善调整的效果预计,确定评估递减类型为双曲递减,初期递减率为15.5%,评估证实已开发储量为5.1百万桶( $71.8 \times 10^4$  t),比较客观、准确地反映了单元未来的产量趋势。

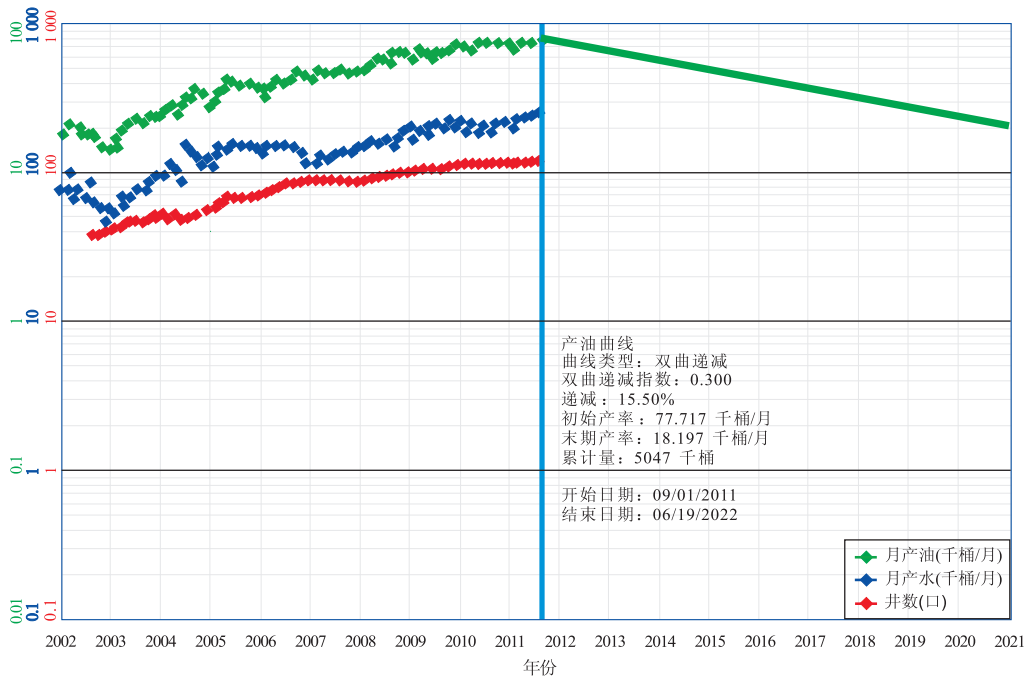


图5 王集油田评估结果曲线

Fig.5 Evaluation results of Wangji Oil Field

### 4 结论

递减曲线法评估最重要的2个影响因素是递减类型和递减率,其次是评估单元划分、矿权开采年限、经济参数等<sup>[4]</sup>。

1)在初始产量、经济极限一样的情况下,选择不同的递减类型,评估结果相差甚远,要求评估人员必须熟悉油藏和单元的动态变化过程,准确分析评估单元在未来的变化趋势,使最终评估的结果合理地反映单元未来产量的变化情况。

2)在确定递减类型的时候,图解法和试凑法可能产生多解性,在评估过程中要重点考虑单元的动态变化,分析单元目前的含水阶段所表现出的开发特征,要根据近期的开发趋势选取合适的、能够代表近期生产变化的数据段,反映出在现有井网条件下、现有技术条件下产量的变化趋势。

3)如果产量曲线趋势不明显无法确定时,可采用类比法,与相似油田进行类比,确定递减类型和递减率。

#### 参考文献:

- [1] 贾承造. 美国 SEC 油气储量评估方法[M]. 北京:石油工业出版社,2004.
- [2] 孟海燕. SEC 准则油气储量评估递减曲线法研究及影响因素探讨[J]. 大庆石油地质与开发,2011,30(5):87-91.
- [3] 陈元千. 油气藏工程实践[M]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [4] 黄学斌. 储量动态评估方法及影响因素分析[J]. 油气地质与采收率,2003,10(2):17-18.
- [5] 胡志芳. 关于 SEC 油气储量评估及影响因素分析[J]. 石油天然气学报,2006,28(2):48-49.
- [6] 张玲,魏萍,肖席珍. SEC 储量评估特点及影响因素[J]. 石油与天然气地质,2011,32(2):293-302.
- [7] 马东,刘波,董森,等. 一种计算储采比的新方法及其应用[J]. 断块油气田,2011,18(2):241-243,247.

(编辑 徐文明)