

浅析油田储采比和递减率的关系

蒋百召

中国海洋石油国际有限公司, 北京
Email: jiangbzh@cnooc.com.cn

收稿日期: 2020年10月27日; 录用日期: 2020年11月9日; 发布日期: 2020年11月16日

摘要

储采比和递减率是油田开发的两个重要指标, 从储采比和递减率的定义出发, 分析了递减初期储采比和递减率的相互关系, 推导了保持储采比不变时对应的临界递减率计算公式, 并绘制图版讨论了递减率、递减类型和储量替代率对油田储采比的影响。研究成果表明: 稳产期末的储采比与进入递减时的初始递减率成反比关系, 临界递减率随着储采比的增大而减小, 随着储量替代率的增大而增大; 储采比随着替代率和递减率的增加都呈现递减变缓或者增速变大的趋势。

关键词

储采比, 递减期, 临界递减率, 储量替代率

Relationship between Reserves Production Ratio and Recline Rate Analysis

Baizhao Jiang

CNOOC International Ltd., Beijing
Email: jiangbzh@cnooc.com.cn

Received: Oct. 27th, 2020; accepted: Nov. 9th, 2020; published: Nov. 16th, 2020

Abstract

Based on the definition of the two indexes, this paper analyzed the relationship between the reserves production ratio and decline rate at the initial stage of decline, and then calculated the formula of the critical decline rate which can keep the reserve production ratio remain unchanged, and drew charts to discuss the decline rate, decreasing type and reserves replacement

ratio effect on the oil reserves production ratio. Research results show that: the reserves production ratio had an inverse relationship with the initial decline rate at begin period of depletion, and the critical decline rate decreased with the reserves production ratio increases, and increased with the increasing of reserves replacement ratio; with the increase of the reserves replacement ratio or the decline rate, the reserves production ratio was showing declined slow or increased fast.

Keywords

Reserves Production Ratio, Period of Depletion, Critical Decline Rate, Reserves Replacement Ratio

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

油、气田储采比定义为当年剩余可采储量与当年年产量的比值，它是油气产量保证程度的一个指标，是由苏联学者在 20 世纪 80 年代提出，主要用于确定石油工业各部门基本建设投资的比例。国内对于储采比的研究始于 20 世纪 90 年代，研究了储采比在勘探开发、中长期规划中的应用，分析了油田储采比的影响因素，提出了保持稳产的储采比警戒值(临界值)、经济极限储采比等认识，并对如何保持油田合理储采比给出了很多建议和对策[1]-[10]。

确定合理的储采比，既能保证原油产量的正常增加，又能对油气勘探进行合理投资。如果储采比过大，会形成资金以储量存在的形式积压；储采比过小，产量保证程度低。因此，研究合理的储采比对石油工业来说具有重要意义。

万吉业[11]认为储采比小于 12.0 时油田将进入递减期；陈元千[12]认为油气田进入递减时的储采比约为 8.0~12.0；苑丽、曲世元、姚靖婕[13] [14] [15]等研究了储采比与储量替代率、采出程度、递减率等因素之间的关系，并给出合理储采比计算方法。

2. 稳产期末油田储采比与初始递减率的关系

从技术经济平衡角度考虑，油田稳产期结束时，油田储采比越低，产量递减的就越快，因此保持较高的储采比，是油田开发立于主动地位的关键。考虑到油田稳产期结束后，产量不宜下降得太快，稳产期末对应的储采比应当控制在一个“合理”的水平上[16]-[24]。

由储采比定义[2]得：

$$R_{RP_t} = \frac{N_{R_t}}{Q_t} \quad (1)$$

式中： R_{RP_t} —第 t 年储采比，f；

N_{R_t} —第 t 年油田剩余可采储量， 10^4 t。

分别以指数递减、双曲递减和调和递减[10]三种类型讨论稳产期末(即递减初期)油田储采比与初始递减率的关系。

1) 指数递减[25]

$$Q_t = Q_0 e^{-D_0 t} \quad (2)$$

$$N_{R_o} = \frac{Q_o - Q_e}{D_o} \quad (3)$$

式中: Q_o —稳产期末油田产量, 10^4 t;

Q_t —递减期第 t 年油田产量, 10^4 t

D_o —初始递减率, f;

N_{R_o} —稳产期末油田剩余可采储量, 10^4 t;

Q_e —经济极限年油田产量, 10^4 t。

$$\text{则稳产期末油田储采比 } R_{RPO} = \frac{N_{R_o}}{Q_o} = \frac{1}{D_o} \left(1 - \frac{Q_e}{Q_o} \right)$$

$$R_{RPO} D_o = 1 - \frac{Q_e}{Q_o} \quad (4)$$

2) 双曲递减

$$Q_e = Q_o (1 + nD_o t)^{-\frac{1}{n}}$$

$$N_{R_o} = \frac{Q_o}{D_o} \left(\frac{1}{1-n} \right) \left[1 - (1 + nD_o t)^{-\frac{n-1}{n}} \right]$$

$$R_{RPO} = \frac{1}{D_o} \left(\frac{1}{1-n} \right) \left[1 - (1 + nD_o t)^{-\frac{n-1}{n}} \right] = \frac{1}{D_o} \left(\frac{1}{1-n} \right) \left[1 - \left(\frac{Q_e}{Q_o} \right)^{-(n-1)} \right]$$

$$R_{RPO} D_o = \left(\frac{1}{1-n} \right) \left[1 - \left(\frac{Q_e}{Q_o} \right)^{-(n-1)} \right] \quad (5)$$

$$\text{当 } n=0.5 \text{ 时 } R_{RPO} D_o = 2 \left(1 - \sqrt{\frac{Q_e}{Q_o}} \right) \quad (n=0.5) \quad (6)$$

3) 调和递减

$$Q_e = Q_o (1 + D_o t)^{-1}$$

$$N_{R_o} = \frac{Q_o}{D_o} \ln(1 + D_o t)$$

$$R_{RPO} = \frac{1}{D_o} \ln(1 + D_o t) = \frac{1}{D_o} \ln \left(\frac{Q_o}{Q_e} \right)$$

$$R_{RPO} D_o = \ln \left(\frac{Q_o}{Q_e} \right) \quad (7)$$

综上所述, 三种类型递减情况下, 油田稳产期末储采比均与初始递减率成反比关系, 进入递减时的储采比越大, 则产量递减率越小; 反之, 稳产期末储采比越小, 则产量递减率越大(详见图 1)。

另图 1 所示, 油田稳产期末储采比为 10 的情况下, 油田下仍可生产 25 年(若考虑新增可采储量, 油田生产年限更长), 由此可以看出以前我们将储采比与储量寿命等同的概念是不准确的。

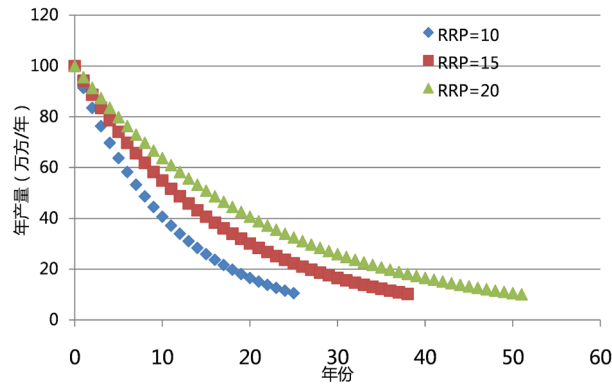


Figure 1. Change patterns of the oil field production for deferent reserves production ratio-exponential decline ($Q_o = 100$, $Q_e = 10$)

图 1. 不同储采比下历年产油量 - 指数递减($Q_o = 100$, $Q_e = 10$)

$$\text{假设 } \frac{Q_e}{Q_o} = 0.01, \text{ 则 } R_{RPo}D_o = \begin{cases} 0.99 & \text{指数递减} \\ \left(\frac{1}{1-n}\right)[1-0.01^{(1-n)}] & \text{双曲递减} \\ 4.61 & \text{调和递减} \end{cases} \quad (8)$$

稳产期末储采比一定时，调和递减类型递减率最大，双曲递减($0 < n < 1$)次之，指数递减类型的递减率最小(详见图 2)。这与初始递减率相同情况下，指数递减产量的递减速度最快，双曲递减次之，调和递减产量递减速度最慢的原理是一致的。

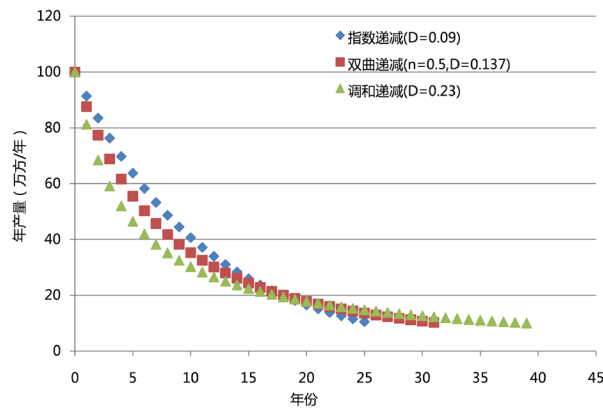


Figure 2. Change patterns of the oil field Production for deferent decline type ($R_{RPo} = 10$, $Q_o = 100$, $Q_e = 10$)

图 2. 不同递减类型的历年产油量($R_{RPo} = 10$, $Q_o = 100$, $Q_e = 10$)

3. 保持储采比不变时的临界递减率

由储采比定义可知，其变化由年初可采储量、年净增可采储量和年产量决定，油田产量递减阶段，储采比变化趋势有递增型和递减型两种。通过对不同递减规律下储采比变化规律的研究，认为存在一个临界递减率，它决定储采比变化的递增、递减型变化趋势：当递减率高于临界递减率时，储采比呈递增趋势；当递减率小于临界递减率时，储采比呈递减趋势。

首先由储量替代率的定义得：

$$T_t = \frac{\Delta N_{Rt}}{Q_t} \quad (9)$$

式中: ΔN_t —第 t 年净增可采储量, 10^4 m^3 ;

T_t —第 t 年储量替代率, f 。

由式(2)和(9)得:

$$R_{RP1} = \frac{N_{R1}}{Q_1} \quad (10)$$

$$R_{RP2} = \frac{N_{R2}}{Q_2} = \frac{N_{R1} + \Delta N_{R2} - Q_2}{Q_2} = \frac{N_{R1}}{Q_1} \frac{Q_1}{Q_2} + \frac{\Delta N_{R2}}{Q_2} - 1 = \frac{R_{RP1}}{1 - D_2} + T_2 - 1 \quad (11)$$

$$R_{RP3} = \frac{N_{R3}}{Q_3} = \frac{N_{R2} + \Delta N_{R3} - Q_3}{Q_3} = \frac{R_{RP2}}{1 - D_3} + T_3 - 1 \quad (12)$$

$$\text{依此类推, } R_{RP t+1} = \frac{N_{R t+1}}{Q_{t+1}} = \frac{R_{RP t}}{1 - D_{t+1}} + T_{t+1} - 1 \quad (13)$$

欲保持储采比稳定, 须 $R_{RP t+1} = R_{RP t}$,

$$\text{则临界递减率 } D_{t+1} = 1 - \frac{R_{RP t}}{R_{RP t-T_{t+1}} + 1} = \frac{1 - T_{t+1}}{R_{RP t-T_{t+1}} + 1} \quad (14)$$

由式(14)可知, 临界递减率随着储采比的增大而减小, 随着储量替代率的增大而增大。

4. 不同储量替代率、递减率下的历年储采比

由于阶段累积增加可采储量与油田开发潜力、工作量安排等多种因素有关, 为方便求解, 设阶段内储量替代率为常数。假定油田稳产期末储采比为 12, 储量替代率保持为 0.4, 根据式(10)、(11)、(12)和(13)计算油田在指数递减率为 0.01、0.03、0.05 和 0.08 下的历年储采比(图 3), 油田储采比随递减率的增加而减小变缓或者增速变快, 另从图 3 中看出当递减率较大时, 存在替代率小于 1 而储采比上升的情况发生。

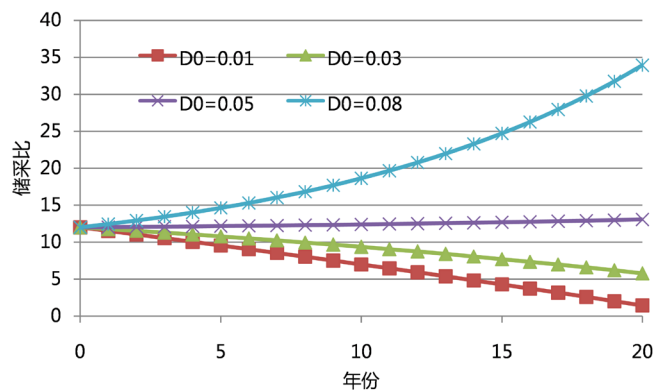


Figure 3. Change patterns of the oil field reserves production ratio for deferent decline rate-exponential decline ($R_{RP0} = 12$, $T = 0.4$)

图 3. 不同递减率下油田历年储采比 - 指数递减($R_{RP0} = 12$, $T = 0.4$)

绘制同一油田稳产期末储采比、初始递减率情况下, 指数递减、双曲递减($n = 0.5$)和调和递减三种递减类型的油田历年储采比, 图 4 所示, 产量呈指数递减时油田递减期储采比最高, 双曲递减次之, 调和递减最低, 分析其主要原因是指数递减产量下降较快。

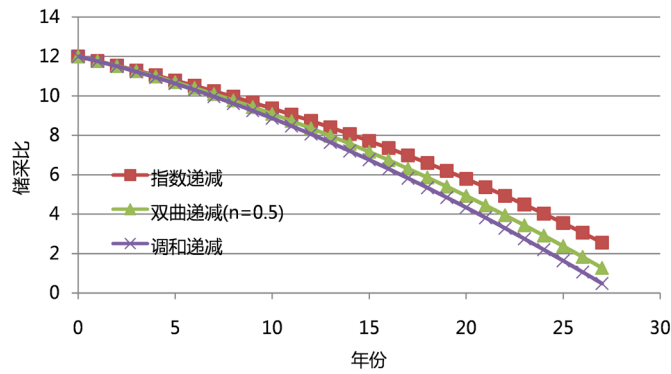


Figure 4. Change patterns of the oil field reserves production ratio for deferent decline type ($D_o = 0.03, T = 0.4$)
图 4. 不同递减类型油田历年储采比($D_o = 0.03, T = 0.4$)

假设年储量替代率为 0.4，指数递减率为 0.03，绘制稳产期末储采比为 8、10、12 和 15 的油田历年储采比，可以发现储采比越高的油田，其降幅越缓(详见图 5)。因此要保障油田递减期储采比相对稳定的话，需提高递减初期储采比。

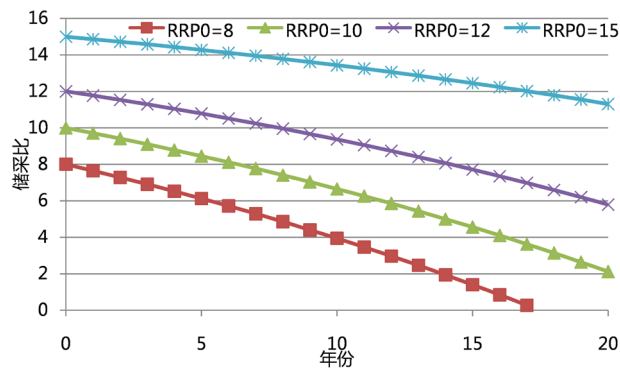


Figure 5. Change patterns of the oil field reserves production ratio for deferent initial reserves production ratio- exponential decline ($D_o = 0.03, T = 0.4$)
图 5. 不同初始储采比情况下油田历年储采比 - 指数递减($D_o = 0.03, T = 0.4$)

假设油田稳产期末储采比为 12，递减率为 0.03，计算年储量替代率为 0、0.2、0.4 和 1 的情况下历年储采比，可以发现，储采比随着替代率的增加而递减变缓或者增速变大(详见图 6)。因此在油田递减期仍需加大力度挖掘油田潜力，以增加新的可采储量来保持甚至提高油田储采比，延长油田寿命。

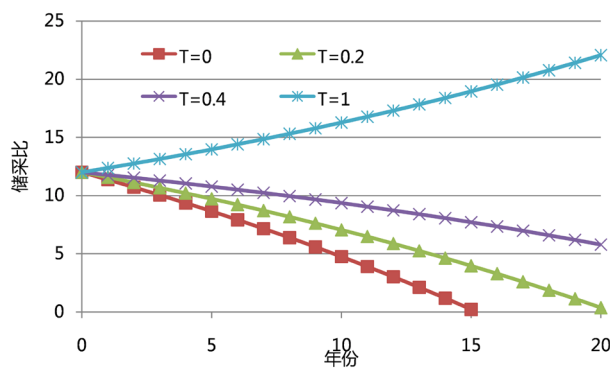


Figure 6. Change patterns of the oil field reserves production ratio for deferent reserves replacement ratio ($R_{RPo} = 12, D_o = 0.03$)
图 6. 不同储量替代率情况下油田历年储采比 - 指数递减($R_{RPo} = 12, D_o = 0.03$)

5. 结论

1) 稳产期末的储采比直接关系到油田进入递减时的初始递减率大小, 进入递减期时的储采比越大, 则初始递减率越小; 反之, 进入递减期时的储采比越小, 则初始递减率越大, 油田开发尽量保持稳产期末储采比在较高的水平;

2) 稳产期末储采比一定时, 调和递减类型递减率最大, 双曲递减($0 < n < 1$)次之, 指数递减类型的递减率最小;

3) 临界递减率随着储采比的增大而减小, 随着储量替代率的增大而增大;

4) 储采比随着替代率和递减率的增加都呈现递减变缓或者增速变大的趋势, 因此在油田递减期仍需加大力度挖掘油田潜力或适当减少原油产量, 以保持甚至提高油田储采比, 实现油田可持续发展。

参考文献

- [1] 闫存章, 李秀生, 吴晓东, 等. 对保持油田合理储采关系的几点认识[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 96-98.
- [2] 陈淦, 杨新玲. 关于储采比研究中的几个问题[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(5): 350-354.
- [3] 合理储采比在油田开发规划中的应用[J]. 西南石油大学学报(社会科学版), 2010, 3(2): 17-35.
- [4] 胡丹丹, 唐玮, 白喜俊, 等. 储采比变化规律及其在中长期规划中的应用[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2007, 29(5): 125-128.
- [5] 赵庆飞, 陈元千. 关于经济极限储采比的研究[J]. 断块油气田, 2003, 10(1): 36-39.
- [6] 陈元千, 赵庆飞. 油气田储采比变化关系的研究[J]. 断块油气田, 1999, 6(6): 23-26.
- [7] 蒋红玲, 卢鹏海. 利用储采比与储采平衡率确定油田产量[J]. 吐哈油气, 2008, 13(1): 25-27.
- [8] 何蓉霞. 储量替代率和储采比的研究现状[J]. 石油科技论坛, 2009(3): 54-56.
- [9] 赵庆飞. 储采比在勘探开发中的应用[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(6): 569-571.
- [10] 卢广钦. SEC 剩余经济可采储量替代率与产量的关系及影响因素[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(3): 60-64.
- [11] 万吉业. 石油天然气“资源量-储量-产量”的控制预测与评价系统[J]. 石油学报, 1994, 15(3): 51-60.
- [12] 陈元千, 赵庆飞. 注水开发油田储采比的分析方法[J]. 断块油气田, 2000, 7(1): 31-33.
- [13] 苑丽. 冷家油田储采比与递减率关系及合理性研究[J]. 断块油气田, 2005, 12(6): 33-36.
- [14] 曲世元, 侯吉瑞, 梁华伟. 油田储采比影响因素分析研究[J]. 石油地质与工程, 2016, 30(2): 83-86.
- [15] 姚靖婕, 李彦来, 闫建丽, 等. 海上油田储采比变化规律研究[J]. 特种油气藏, 2020, 27(1): 129-135.
- [16] 马名臣. 油田储采比与产量递减率及稳产年限的关系[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(5): 79-80.
- [17] 凡哲元. 油田储量替代率与稳产的关系[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(4): 78-80.
- [18] 王俊魁. 油田储采比合理界限与产量递减的趋势预测[J]. 大庆石油地质与开发, 1991, 10(4): 27-33.
- [19] 李艳华, 王俊魁. 油田产量递减规律与储采比合理界限的确定[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(4): 333-335.
- [20] 赵庆飞, 凡哲元, 魏海峰. 储采比与油田稳产关系——以中石化探区为例[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(4): 511-516.
- [21] 柳迎斌, 刘野, 穆淑英, 等. 储采比与递减率理论关系分析[J]. 内蒙古石油化工, 2008(13): 140-141.
- [22] 王天智, 田晓东. 不同递减条件下储采比变化分析[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(1): 31-34.
- [23] 王禄春, 赵鑫, 李金东, 等. 油田合理储采比界限预测方法[J]. 新疆石油地质, 2020, 6(3): 355-364.
- [24] 王刚, 段宇, 李珍, 等. 渤海油田的合理储采比确定方法研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2019, 2(1): 34-37.
- [25] 姜汉桥, 姚军, 姜瑞忠. 油藏工程原理与方法[M]. 东营: 石油大学出版社, 2003: 189-192.